

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO,
PARA LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES PERTENECIENTE AL AEROPUERTO INTERNACIONAL
“MARISCAL SUCRE” A CARGO DE LA EMPRESA “INGENIERÍA Y
SERVICIOS AMBIENTALES ISA S.A”.

AUTORES:

LUIS FABIÁN CALO CATOTA

EDISON VINICIO VASCO CAMACHO

TUTOR:

MARCOS ANTONIO HECHAVARRÍA SÁNCHEZ

Quito, julio del 2017

Cesión de derechos de autor

Nosotros Edison Vasco, Luis Calo con documento de identificación N° 1720679479, 0503821316, respectivamente manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PARA LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PERTENECIENTE AL AEROPUERTO INTERNACIONAL “MARISCAL SUCRE” A CARGO DE LA EMPRESA “INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES ISA S.A”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERO MECÁNICO en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

. 

Nombre: Edison Vasco

Cédula: 1720679479

Fecha: 26 de julio del 2017



Nombre: Luis Calo

Cédula: 0503821316

Fecha: 26 de julio del 2017

Declaratoria de coautoría del docente tutor

Yo Marcos Antonio Hechavarría Sánchez declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el proyecto técnico, IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PARA LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PERTENECIENTE AL AEROPUERTO INTERNACIONAL “MARISCAL SUCRE” A CARGO DE LA EMPRESA “INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES ISA S.A” realizado por Edison Vinicio Vasco Camacho y Luis Fabián Calo Catota, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio 2017

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Hechavarría S.', with a horizontal line underneath.

Marcos Antonio Hechavarría Sánchez
CI: 1756684369

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE IMÁGENES, SONIDO,

PATENTES, O INFORMACIÓN EMPRESARIAL

Yo Ing. Alexis Torres Durán, con documento de identificación No. 1704925922, autorizó el uso de imágenes, sonido, patentes o información empresarial utilizados en este trabajo de titulación con el tema: IMPLEMENTACIÓN DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, PARA LOS EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PERTENECIENTE AL AEROPUERTO INTERNACIONAL “MARISCAL SUCRE” A CARGO DE LA EMPRESA “INGENIERÍA Y SERVICIOS AMBIENTALES ISA S.A”.



.....
Ing. Alexis Torres Durán

1704925922

Cumbaya, octubre de 2017

Dedicatoria

Dedicado a mis padres Luis Vasco y Ana Camacho por haberme brindado su apoyo y comprensión por sus buenos consejos que fueron los que me ayudaron alcanzar esta meta, a mis hermanas Cinthia y Carolina que siempre estuvieron conmigo velando y cuidándome en los momentos que más lo necesitaba, a mi familia entera que ha fomentado valores que han ayudado a mi crecimiento como persona.

Edison Vasco C.

Dedicado a mis padres Carlos Calo y Blanca Catota (+), por haberme dado la vida, gracias por sus enseñanzas y sacrificio, por siempre tener sabios consejos para afrontar los obstáculos y decisiones personales, a mi hermano Carlos por inspirarme a ser una persona y profesional de éxito, a mis hermanos Edgar y Diana por ser mi mayor motivación para seguir adelante, y a toda mi familia que siempre estuvieron pendientes y hacer posible este logro.

Luis Calo C.

Agradecimientos

A la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales S.A. ISA SA, por brindarnos la oportunidad de desarrollar este trabajo. A todo su grupo de trabajo, en especial al Ing. Carlos Toledo y al Ing. Alex Torres por su asesoría y apoyo incondicional.

Un agradecimiento al Ing. Marcos Hechavarría Sánchez quien con su conocimiento ha sabido guiarnos durante el desarrollo de nuestro trabajo de titulación, quien, con sus aportes y observaciones, ayudó en el desarrollo del proyecto hasta llegar a la culminación del mismo.

A la Universidad Politécnica Salesiana lugar donde realizamos nuestros estudios, donde hicimos nuevos amigos y compartimos nuevas experiencias, así como a sus docentes quienes han sabido comunicar sus conocimientos y experiencias las cuales serán valiosas para nuestra vida personal y profesional.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
Planteamiento del problema.....	2
Justificación.....	3
CAPÍTULO 1.....	4
MARCO TEÓRICO	4
1.1 Generalidades.....	4
1.1.1 Reseña histórica de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales.....	4
1.1.2 Visión de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales S.A	4
1.1.3 Misión de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales S.A.....	5
1.1.4 Localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	5
1.1.5 Descripción del proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales	5
1.2 Fundamentos teóricos de mantenimiento	22
1.2.1 Historia del mantenimiento.....	22
1.2.2 Mantenimiento Productivo Total o TPM.....	24
1.2.3 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM.....	24
1.2.4 Jerarquización de los sistemas y/o equipos.....	27
1.2.5 Análisis de criticidad	27
1.2.6 Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF)	30
1.3 Confiabilidad	31
1.3.1 Fiabilidad en el coste de ciclo de vida	31
1.3.2 Disponibilidad.....	33
1.4 Plan de mantenimiento.....	34
1.4.1 Tipos de tareas de mantenimiento	35
CAPÍTULO 2.....	38
MARCO METODOLÓGICO	38
2.1 Levantamiento en línea y codificación de equipos.....	39
2.1.1 Fichas técnicas de los equipos	40
2.1.2 Hojas de registro de histórico de fallas	41

2.2	Jerarquización de los equipos aplicando el análisis de criticidad.....	44
2.2.1	Recolección de información para el análisis del valor de criticidad.....	44
2.2.2	Cálculo del valor de criticidad de los equipos	46
2.3	Selección del tipo o modelo de mantenimiento para los equipos	47
2.3.1	Modelo de mantenimiento para los equipos	47
2.4	Aplicando el proceso RCM a los equipos con criticidad alta	48
2.5	Contexto operacional de los equipos con criticidad A	49
2.6	Fiabilidad de los equipos	51
2.7	Disponibilidad de los equipos.....	53
2.8	Desarrollo del Análisis de Modos de Falla y Efecto en los equipos críticos	53
2.8.1	Desarrollo de la hoja de información de los modos y efectos de falla	53
2.8.2	Desarrollo de la hoja de decisión RCM	54
2.9	Desarrollo del plan de mantenimiento	56
2.9.1	Tipos de tareas según el modelo de mantenimiento	57
2.9.2	Tareas generales de manteamiento al inicio de cada jornada laboral	58
2.9.3	Tareas para realizar en el moto reductor MV-0001 pertenecientes al grupo con criticidad A	59
2.9.4	Tareas para realizar a las bombas de lodos PCP-0001/2 pertenecientes al grupo con criticidad B	59
2.9.5	Tareas para realizar a las bombas centrífugas PCF-0001/2/3/4 pertenecientes al grupo con criticidad C	60
2.9.6	Tablas para la lectura del formato del plan de mantenimiento	61
2.9.7	Rutas de mantenimiento.....	62
2.9.8	Ordenes de trabajo	63
CAPÍTULO 3.....		65
ANÁLISIS Y RESULTADOS INVOLUCRADOS EN EL DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO		65
3.1	Resultados de la encuesta para el análisis de criticidad.....	65
Teniendo el cálculo de la criticidad de todos los equipos		68
3.2	Tiempo promedio entre fallas y Tiempo promedio para reparar	71
3.2.1	Análisis de TPEF Y TPPR al grupo con criticidad “A”	72
3.3	Disponibilidad de los equipos.....	75
3.4	Relación entre Criticidad y Disponibilidad	76

3.5	Levantamiento y análisis de modos de falla y efecto de los equipos de criticidad A.....	77
3.5.1	Hoja de decisión RCM de los equipos de criticidad A	77
3.6	Formulación de los planes de mantenimiento y desarrollo de la matriz de mantenimiento.....	78
3.6.1	Filtro de datos según actividades semanales.....	79
3.6.2	Filtro de actividades quincenales	79
3.6.3	Filtro de datos según actividades mensuales	80
3.6.4	Visualización de las frecuencias de actividades por color.....	80
3.6.5	Cronograma de actividades de mantenimiento	82
3.6.6	Rutas de inspección	83
3.6.7	Planteamiento de las órdenes de trabajo	85
3.6.8	Capacitación al personal de mantenimiento	86
	CONCLUSIONES.....	88
	RECOMENDACIONES.....	89
	LISTA DE REFERENCIAS	90
	APÉNDICES.....	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 1. Diagrama de bloque de la estructuración de los activos, de la planta.	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 2. Listado de equipos de la planta de tratamiento;	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 3. Fichas técnicas	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 4. Hojas de registro de mantenimientos correctivos de los 4 equipos con criticidad alta.....	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 5. Hojas de registro de mantenimientos preventivos.	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 6. Formato de encuesta para el análisis de criticidad.	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 7. Diagrama de decisión RCM II	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 8. Resultados de la encuesta para el análisis de criticidad.....	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 9. Valores del análisis de criticidad de los equipos de la planta.	¡Error! Marcador no definido.
	Apéndice 10. Tiempo promedio entre fallas (TPEF) y Tiempo promedio para reparar TPPR	¡Error! Marcador no definido.

Apéndice 11. Análisis de TPEF Y TPPR al grupo con criticidad “A”, “B”, “C”	¡Error! Marcador no definido.
Apéndice 12. Levantamiento y análisis de modos de falla y efecto de los equipos de criticidad A.....	¡Error! Marcador no definido.
Apéndice 13. Hoja de decisión RCM II de los equipos de criticidad A	¡Error! Marcador no definido.
Apéndice 14. Matriz del plan de mantenimiento desarrollado para la planta de tratamiento.....	¡Error! Marcador no definido.
Apéndice 15. Cronograma general para las actividades del plan de manteniendo.	¡Error! Marcador no definido.
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 1. Diagrama de flujo de procesos y tuberías (P&ID) de la planta de tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2. Fotografías de los equipos de la planta de tratamiento.	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Requisitos de calidad de afluente a la planta de tratamiento	6
Tabla 2. Formato de listado de equipos	39
Tabla 3. Fichas del mantenimiento correctivo	42
Tabla 4. Ficha de historial	43
Tabla 5. Formato para encuesta Análisis de Criticidad.....	45
Tabla 6. Formato para encontrar TPEF y TPPR	52
Tabla 7. Formato de información RCM II	54
Tabla 8. Hoja de decisión RCM II	55
Tabla 9. Tipos de tareas según el modelo de mantenimiento.	57
Tabla 10. Leyenda de abreviaturas.....	61
Tabla 11. Leyenda de frecuencia de actividades por color	61
Tabla 12. Valores obtenidos de la encuesta de criticidad para el equipo MV-0001 ..	67
Tabla 13. Cálculo del valor de criticidad	68
Tabla 14. Resultados del análisis de criticidad	69
Tabla 15. Equipos de acuerdo con el nivel de criticidad.....	71
Tabla 16. Resultados de TPEF y TPPR.	72
Tabla 17. TPEF y TPPR grupo con criticidad A.....	73
Tabla 18. Disponibilidad de los equipos de la planta.....	75
Tabla 19. Hoja de información AMEF del equipo MV-0001	77
Tabla 20. Hoja de decisión RCM II del equipo MV-0001.....	78
Tabla 21. Extracto de las actividades semanales	79
Tabla 22. Filtros actividades quincenales	79
Tabla 23. Filtro de datos de actividades mensuales	80

Tabla 24. Cronograma de actividades	82
---	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas.....	5
Figura 2. Tanque trampa de grasas.	8
Figura 3. Cárcamo de bombeo	9
Figura 4. Tanque de flotación por aire difuso (DAF)	9
Figura 5. Equipo de micro aireación	10
Figura 6. Conjunto motor-transmisión, instalados en el tanque DAF.....	10
Figura 7. Tanque de igualación.....	11
Figura 8. Soplador industrial.....	12
Figura 9. Disposición de los RBC's	14
Figura 10. Tanques de sedimentación secundaria.....	14
Figura 11. Tanque de agua de pre-filtrado	15
Figura 12. Filtros de arena del tratamiento terciario	17
Figura 13. Bomba de extracción de lodos.....	18
Figura 14. Tanque de digestión aerobia	19
Figura 15. Sopladores de aire.....	19
Figura 16. Filtro de bandas para lodos a alta presión.....	20
Figura 17. Equipo para preparación de polímero.....	21
Figura 18. Evolución de los tipos de mantenimiento	22
Figura 19. Modelo básico de criticidad.....	28
Figura 20. Tiempos transcurridos desde la falla de un equipo y su puesta en marcha	34
Figura 21. Formato de ficha técnica.....	40
Figura 22. Rutas de mantenimiento	62
Figura 23. Formato de orden de trabajo	63

Figura 24. Extracto de la encuesta llena de criticidad.....	66
Figura 25. Diagrama de barras del resultado de Análisis de Criticidad.....	70
Figura 26. Porcentaje de los equipos según su nivel de criticidad.....	71
Figura 27. Visualización TPEF del grupo con criticidad A	73
Figura 28. Visualización TPPR del grupo con criticidad A.....	74
Figura 29. Criticidad y Disponibilidad.....	76
Figura 30. Frecuencia de actividades por color semanales	81
Figura 31. Frecuencia de actividades por color quincenales.....	81
Figura 32. Frecuencia de actividades por color mensuales.....	81
Figura 33. Rutas de inspección	84
Figura 34. Orden de trabajo	85

RESUMEN

La empresa Ingeniería y Servicios Ambientales ISA S.A, se encuentra brindando el servicio de operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales pertenecientes al nuevo aeropuerto de Quito, por lo que se plantea la elaboración de un plan de mantenimiento preventivo para sus respectivos equipos donde se realizará el análisis de la situación actual de la planta y sus diferentes procesos, las tareas y frecuencias de mantenimiento para cada uno de los equipos se las obtuvieron de la aplicación de la Metodología del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), las recomendaciones de los fabricantes y las recomendaciones de los técnicos internos de la empresa.

Con la implementación del plan de mantenimiento preventivo se busca reducir los mantenimientos correctivos y paradas inesperadas de los equipos que provocan problemas en los procesos de la planta y un aumento en los costos de mantenimiento, se plantea un plan de mantenimiento preventivo con la descripción y frecuencia de actividades para cada equipo para así evitar el deterioro o daño de los equipos y garantizar el tratamiento del afluente contaminado, ayudando a cumplir con los parámetros exigidos de calidad del afluente descritas en la legislación ambiental del Ecuador.

PALABRAS CLAVES: Plan de mantenimiento preventivo, Mantenimiento centrado en la confiabilidad, Confiabilidad operacional, Análisis de criticidad

ABSTRACT

The company Ingeniería y Servicios Ambientales ISA SA is providing the operation and maintenance service of the wastewater treatment plant belonging to the new airport in Quito, so it is proposed to prepare a preventive maintenance plan for their respective equipment where the analysis of the current situation of the plant and its different processes will be carried out, the tasks and maintenance frequencies for certain groups of equipment were obtained from the application of the Reliability Centered Maintenance Methodology (RCM), the recommendations of the manufacturers and the recommendations of the internal technicians of the company.

With the implementation of the preventive maintenance plan it is sought to reduce the corrective maintenance and unexpected stops of the equipment that cause problems in the processes of the plant and an increase in the costs of maintenance, a preventive maintenance plan is proposed with the description and frequency of activities for each equipment in order to avoid deterioration or damage of the equipment and to guarantee the treatment of the contaminated tributary, helping to comply with the parameters of quality of the affluent described in the environmental legislation of Ecuador.

KEYWORDS: Preventive Maintenance Plan, Centralized Maintenance in Reliability, Operational Reliability, Criticality Analysis

GLOSARIO DE PALABRAS

Afluente: Líquido que ingresa a un proceso o planta de tratamiento [1].

Efluente: Líquido que sale de un proceso o planta de tratamiento [1].

Eutrofización: Es el proceso que presentan algunos sistemas acuáticos dado por el aumento del aporte de fosforo y nitrógeno desde la fuente del drenaje, que se manifiesta en una intensa proliferación y acumulación excesiva de micro algas y plantas superiores [2].

Sistemas coloidales: Son sistemas de, al menos, dos fases, una de ellas finalmente dividida en pequeñas partículas (fase dispersa, fase discontinua) a las que rodea completamente la otra sustancia (fase dispersante, medio de dispersión, fase continua) [3].

Emulsión: Es una dispersión termodinámicamente inestable de dos o más líquidos inmiscibles o parcialmente miscibles [4].

Biomasa: Masa de microorganismos, generalmente bacterias [5].

Bacterias: Son microorganismos unicelulares que se reproducen por fisión binaria [6].

Biodiscos RBC: Este sistema de tratamiento biológico secundario es usado para la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y para el pulido de efluentes nitrificados los biodiscos remueven la materia orgánica soluble y coloidal presente en el agua residual, bajo condiciones aeróbicas [5].

DBO: Es una medida de la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica de una muestra de agua, por medio de una población microbiana heterogénea. La información obtenida en la prueba corresponde a la materia orgánica biodegradable [7].

DQO: Es una medida de la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte. Específicamente representa el contenido orgánico total de la muestra, oxidable por dicromato en solución ácida [7].

Airlifting: Cumple el efecto de movilizar agua a través de un burbujeo [8].

Agentes biológicos: Microorganismos, con inclusión de los genéticamente modificados, cultivos celulares y endoparásitos humanos, susceptibles de originar cualquier tipo de infección, alergia o toxicidad [9].

Sólidos Volátiles: El contenido de sólidos volátiles se interpreta en términos de materia orgánica, teniendo en cuenta que a 550 ± 50 °C la materia orgánica se oxida a una velocidad razonable en forma de gas como CO₂ y agua que se volatilizan, quedando la fracción inorgánica en forma de cenizas [10].

Sólidos Suspendidos: Los sólidos suspendidos son principalmente de naturaleza orgánica, son desechos humanos, desperdicios de alimentos, papel, trapos y células biológicas que forman una masa de sólidos suspendidos en el agua [10].

Microorganismos: Es toda entidad microbiológica celular o no, capaz de reproducirse o transferir material genético [9].

Mantenibilidad: Es la expectativa que se tiene de que un equipo o sistema pueda ser colocado en condiciones de operación dentro de un periodo de tiempo establecido, cuando la acción de mantenimiento es ejecutada de acuerdo con procedimientos prescritos [11].

INTRODUCCIÓN

Debido a que las actividades productivas y antropogénicas en general ocasionan impactos ambientales, se tienen mecanismos de prevención y control de evaluación del impacto ambiental, planes de contingencia y mitigación con las respectivas auditorías ambientales. Basándose en políticas de gestión ambiental es necesario la implementación de plantas de tratamiento de aguas residuales, que son diseñadas con el fin de tratar los efluentes contaminados, para posteriormente ser integradas al medio ambiente cumpliendo con los parámetros admisibles que la ley lo dispone. Una planta de tratamiento contiene varios procesos o sistemas donde se encuentran una serie de equipos, los mismos que se deben encontrar en condiciones favorables para que cumplan con las funciones para las que fueron adquiridos, para lograr estas condiciones y la disponibilidad técnica de los equipos se debe asegurar que las actividades de mantenimiento que se realizan sean las necesarias y que se disponga de documentación para un correcto control e implementación de mejoras continuas.

Una de las actividades más importantes es la realización del mantenimiento preventivo a los equipos de una manera programada y eficiente siguiendo procedimientos e indicadores, teniendo la documentación necesaria para su correcta planificación, ejecución y evaluación, por esta razón el presente trabajo de titulación tiene como objetivo general implementar un plan de mantenimiento preventivo para los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales del nuevo aeropuerto Mariscal Sucre de Quito, a cargo de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales ISA SA, teniendo como objetivos específicos realizar las fichas técnicas de los equipos pertenecientes a la planta de tratamiento, levantar y analizar el historial de fallas registrados en los últimos 10 meses de los equipos pertenecientes a la planta, con la finalidad de conocer la frecuencia de fallas, tipo de fallas, entre otras, recopilar la información de las rutinas

de mantenimiento preventivo según los fabricantes de los equipos y/o de las recomendadas por el personal que operara la planta, diseñar el plan anual de mantenimiento preventivo para los equipos de la Planta de Tratamiento.

Iniciando en el primer capítulo con los antecedentes de la empresa, la descripción de los procesos de tratamiento que consta la planta, y con los equipos que la constituyen, haciendo enfoque también en conceptos fundamentales de mantenimiento. Continuando con el segundo capítulo, donde se describe las metodologías usadas para el cumplimiento de los objetivos, la descripción de los pasos para la implementación de la metodología de mantenimiento basado en la confiabilidad o RCM en los equipos de criticidad alta.

En el tercer capítulo se presenta los resultados del proyecto, implementando las metodologías de mantenimiento más adecuados a cada grupo de equipos, teniendo como mayor enfoque a los equipos que se consideran más importantes dentro de la planta de tratamiento.

Planteamiento del problema

La empresa Ingeniería y Servicios Ambientales ISA S.A. Se encuentra en pleno crecimiento y entre sus actividades esta, brindar el servicio de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales. Actualmente se encuentra brindando este tipo de servicio en la planta de tratamiento de aguas residuales del nuevo aeropuerto de Quito Mariscal Sucre. Dado que el mantenimiento actual que se realiza en la planta está basado principalmente en las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, sin tener en cuenta las condiciones operacionales (no todos los equipos tienen registrados sus actividades programadas a realizar), es decir se encuentra en una etapa muy preliminar de mantenimiento preventivo. Receptando

sugerencias de los operadores y el personal técnico encargado de la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, en cuanto al tema de mantenimiento de los equipos, surge la necesidad de realizar un estudio para implementar un proceso de mejora y tener una correcta preparación, ejecución y control del mantenimiento que actualmente se realiza en los equipos.

Justificación

La no existencia de un eficiente plan de mantenimiento provoca demasiadas fallas imprevistas los cuales generan paros inesperados y también pérdidas económicas, por lo que es necesario implementar una nueva metodologías de mantenimiento, y de esta manera buscar la reducción de los costos de operación, una mejor planificación de las actividades de mantenimiento, reducción de paros imprevistos, contar con información técnica oportuna de los equipos de la planta de tratamiento y cumplir de manera adecuada con su objetivo de construcción, logrando con este sistema alargar la vida útil y el correcto funcionamiento de los equipos. Cumpliendo con el enfoque de la Empresa ISA S.A que se basa en el crecimiento y bienestar de los ecuatorianos, proporcionando soluciones ambientales integrales que fomenten el desarrollo de las distintas comunidades mientras protegen el medio ambiente.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

Se presentan una reseña acerca de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales I.S.A. S.A. seguido inmediatamente con la descripción de los procesos que componen la planta de tratamiento de aguas residuales incluyendo definiciones generales de los términos técnicos involucrados en el desarrollo de este estudio. Dichos aspectos giran en torno al levantamiento de artificios y teoría de mantenimiento.

1.1 Generalidades

1.1.1 Reseña histórica de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales

Es una empresa privada de ingeniería ambiental que busca mediante el diseño, fabricación e implementación de soluciones ambientales integrales satisfacer las necesidades de cada cliente y mejorar la calidad de vida de sus usuarios.

La empresa desarrolló el proyecto de ingeniería, diseño, construcción, instalación y puesta en marcha de la segunda fase de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas, para el nuevo aeropuerto de Quito; así también ha sido contratada para realizar la operación continua y el mantenimiento permanente de la misma.

1.1.2 Visión de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales S.A

Nuestra meta es ser los mejores, sabemos que este logro está directamente ligado a la calidad de nuestros productos y servicios. Es por esto que creemos que nuestro trabajo es desarrollar soluciones ambientales integrales que posibiliten el crecimiento y bienestar de la comunidad.

1.1.3 Misión de la empresa Ingeniería y Servicios Ambientales S.A

ISA es una empresa de Ingeniería Ambiental que busca mediante el diseño, fabricación e implementación de soluciones ambientales integrales satisfacer las necesidades de cada cliente y mejorar la calidad de vida de nuestros usuarios

1.1.4 Localización de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El área del proyecto se encuentra ubicada en la parroquia Tababela del cantón Quito (Ver figura No. 1), en la zona noroccidental del Nuevo Aeropuerto Mariscal Sucre en las coordenadas $0^{\circ} 6'52.98''$ de latitud Sur y $78^{\circ}21'49.75''$ de longitud Occidental.

Figura 1. Localización geográfica de la Planta de Tratamiento de Aguas



Localización de la planta de tratamiento de aguas residuales, Fuente: [12]

1.1.5 Descripción del proceso de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales

El grado de contaminación en un efluente, la normativa medio ambiental aplicable en el diseño, la posterior utilización o no del agua tratada son algunos de los datos de partida para determinar los niveles de tratamiento que pueden ser preliminares, primarios, secundarios, terciarios y niveles avanzados que se llevaran a cabo para el diseño de una Planta de tratamiento de aguas residuales.

La norma aplicable a operaciones aeroportuarias es el A.M. 155, *Normas Técnicas Ambientales para la prevención y Control de la contaminación ambiental para los sectores de infraestructura: Eléctrica, Telecomunicaciones y Transporte (Puertos y Aeropuertos)*, libro VI, Anexo 1D, tabla 1 [13].

En la actualidad el sistema de tratamiento de las aguas residuales provenientes del Nuevo Aeropuerto Mariscal Sucre se encuentra diseñado para poder tratar un caudal promedio de 12 litros por segundo, y un caudal pico de 30 litros por segundo, donde los valores promedio de los parámetros contaminantes del afluente se muestran en la tabla No. 1:

Tabla 1. Requisitos de calidad de afluente a la planta de tratamiento

Parámetro	UNIDAD	VALOR
DQO*	mg/L	≤ 720
DBO ₅ *	mg/L	≤ 280
Aceites y Grasas	mg/L	≤ 100
Sólidos suspendidos totales	mg/L	≤ 250
pH	U pH	6.5 a 8.5
Nitrógeno Total	mg/L	≤ 14
Fósforo	mg/L	≤ 2.8
TPH	mg/L	≤ 20
Tensoactivos	mg/L	≤ 2

Requisitos de calidad establecidos por la legislación ambiental del Ecuador, Fuente: [13]

Con respecto a la concentración de nutrientes (nitrógeno y compuestos de fósforo), es importante darse cuenta de que el río Guayllabamba (que recibe el agua tratada), tiene flujo y velocidad importantes, por lo que no se genera un estancamiento del agua río abajo. Por lo tanto, no hay riesgo de eutrofización debido a la baja carga de nutrientes añadida por las aguas residuales tratadas de la planta [12].

La planta de Tratamiento de Aguas Residuales se encuentra estructurada con los siguientes procesos fisicoquímicos:

Tratamiento preliminar: Trampa de grasa, malla de retención de sólidos, tanque de igualación, flotación por aire difuso (DAF).

Tratamiento primario: Sedimentador primario.

Tratamiento secundario: Contactores biológicos rotatorios, sedimentador secundario.

Tratamiento terciario: Filtración, desinfección con luz ultravioleta, desinfección con cloro líquido.

Tratamiento de lodos: Sistema de bombeo de lodos, sistema de preparación de polímero, deshidratación de lodos.

Tratamientos Preliminares.

En [14] menciona que el propósito de los tratamientos preliminares es poder separar materias que, por su naturaleza o su tamaño, pueden obstaculizar o entorpecer los procesos posteriores, este tratamiento se lo realiza por operaciones físicas o mecánicas.

Trampa de grasas.

En la figura No. 2 se muestra el primer tanque que recibe el afluente, consiguiendo atrapar la mayor cantidad de grasas existentes en las aguas residuales, gracias a la diferencia de densidades. En donde existe una producción apreciable de grasas, con el objeto de prevenir el taponamiento de tuberías y el efecto destructor que pueda tener ella sobre la acción de las bacterias y la sedimentación en los posteriores tanques [15].

De esta manera con esta trampa de grasas se busca evitar posibles daños o taponamientos tanto en las tuberías como en las bombas que sirven para continuar el proceso de tratamiento.

Figura 2. Tanque trampa de grasas.



Tanque trampa de grasas de la planta de tratamiento, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Cárcamo de bombeo

Inmediatamente las descargas que se han separado de la grasa más espesa en la trampa de grasas son dirigidas por gravedad al cárcamo de bombeo. Este tanque está construido de hormigón, bajo la superficie del suelo, en su interior se disponen de dos bombas sumergibles tipo trituradoras (Ver figura No. 3), las cuales son encargadas de bombear el agua residual al siguiente proceso.

En la parte superior de este tanque se encuentra instalado un instrumento de medición de nivel de tipo radar, este transmisor electrónico capta la variación de nivel del agua en el cárcamo de bombeo, esta señal transmitida es solo función de la variable medida que tiene como fin encender o apagar las bombas sumergidas, según las configuraciones de nivel alto o bajo de agua en el cárcamo de bombeo.

Figura 3. Cárcamo de bombeo



Cárcamo de bombeo de la planta de tratamiento, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Flotación por aire difuso

El agua residual impulsada por las bombas sumergidas del cárcamo de bombeo ingresa a la etapa de tratamiento físico, en esta etapa se dispone de un tanque de Flotación por Aire Disuelto (DAF), construido en acero inoxidable y de geometría circular, este tanque se puede observar en la figura No. 4. En [15] define que:

“La flotación se utiliza para separar las emulsiones y las partículas sólidas presentes en una fase líquida, mediante burbujas diminutas de un gas, generalmente aire”.

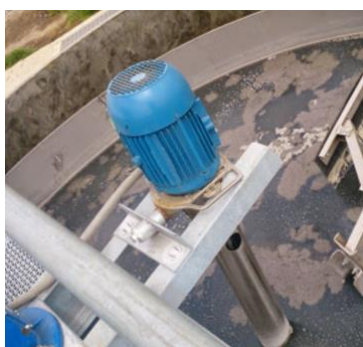
Figura 4. Tanque de flotación por aire difuso (DAF)



Tanque de flotación por aire difuso DAF, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Este tanque dispone de una unidad de Micro aireador (Ver Figura No. 5), el cual mediante una hélice de movimiento crea micro burbujas extremadamente finas, con el fin de que las partículas de aceite y grasas se adhieran a ellas y puedan salir a la superficie del tanque, donde se encuentran unos brazos giratorios que son los encargados de recoger estas grasas y llevarlas a un recogedor de grasas para luego ser retornadas por la acción de la gravedad a la trampa de grasas mediante una tubería.

Figura 5. Equipo de micro aireación



Equipo de micro aireación, instalados en el tanque DAF, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Estos brazos están acoplados a un eje, el mismo que está adaptado a un conjunto motor-transmisión (Ver figura No. 6), se disponen de brazos inferiores los cuales se encarga de remover los sólidos sedimentados (lodos primarios) en la estructura tipo cono, instalada interiormente en la parte inferior del DAF.

Figura 6. Conjunto motor-transmisión, instalados en el tanque DAF



Conjunto motor-transmisión, instalados en el tanque DAF, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Malla retención de sólidos.

El agua residual tratada en el tanque DAF es dirigido por la acción de la gravedad a una malla de retención de sólidos gruesos (Ver en el anexo No. 2), donde el efluente que contiene materiales de gran volumen son retenidos hasta su posterior y adecuada limpieza. Con esta rejilla se busca la protección de bombas, válvulas, tuberías y equipos de los sistemas subsiguientes.

Tanque de igualación

Debido a las constantes variaciones de parámetros del afluente, como el caudal y la carga contaminante, se debe disponer de un tanque de igualación. En [15] indica que el igualamiento consiste en amortiguar las variaciones de caudal para lograr un caudal aproximadamente constante y una carga contaminante homogénea. Logrando que las variaciones de caudal y la carga contaminante que se presentan durante el día se pueden controlar y proporcionar un caudal prácticamente constante a la planta de tratamiento, de la malla de retención de sólidos ingresa al tanque de igualación (Ver figura No. 7).

Figura 7. Tanque de igualación



Tanque de igualación de la PTAR, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Estos tanques de igualamiento muchas veces o casi siempre requieren de mezcla tanto para prevenir el asentamiento de sólidos sedimentables como también para la oxidación de compuestos reducidos, reducción de DBO y control de olores [15]. Para poder tener esta mezcla se disponen de sopladores industriales (Ver Figura No. 8) los cuales envían el caudal de aire necesario al tanque de igualación.

Figura 8. Soplador industrial



Soplador industrial para inyección de aire al tanque de igualación, Autor: Calo Luis y Vasco Edison

1.1.5.1 Tratamiento primario

Siguiendo con el proceso de tratamiento, el agua que ha sido tratada con los tratamientos preliminares pasa al tratamiento primario, donde se busca reducir la concentración de los sólidos sedimentables, coloides y materia orgánica del agua residual. Este tratamiento es precedente al tratamiento secundario [14].

Sedimentador primario

La sedimentación primaria reduce el contenido de sólidos sedimentables, mediante la acción de fuerzas gravitacionales. En [15] afirma que se denominan sedimentadores primarios a aquellos que reciben aguas residuales crudas, generalmente antes del tratamiento biológico secundario estos tanques pueden ser circulares o rectangulares.

El agua residual una vez homogenizada en el tanque de igualación es bombeada a los tanques de sedimentación primaria en donde se aparta el lodo del agua, de tal manera que se tenga un agua clarificada para su posterior tratamiento biológico que es parte del tratamiento secundario.

Este tanque primario también recibe el retorno de los lodos que se generan en el sedimentador secundario, estos lodos son luego extraídos mediante una bomba de desplazamiento positivo de tipo tornillo, para ser enviados al sistema de tratamiento de lodos, que se detalla más adelante.

Se disponen de 2 tanques de sedimentación primaria de forma rectangular contruidos de hormigón, que son compartidos entre reactores por cada tanque los contactores biológicos rotatorios (RBC) que se explican a continuación.

1.1.5.2 Tratamiento secundario

Contactares biológicos rotatorios (RBC).

Contadores Biológicos Rotatorios o RBC por sus siglas en inglés Rotating Biological Contactor, también se los conoce como biodiscos son un sistema de tratamiento biológico en donde las lamas o películas biológicas crecen sobre discos, en rotación a través del agua residual, montados sobre un eje horizontal [15].

Los RBC están contruidos por discos plásticos montados en un eje horizontal soportados por una chumacera en cada extremo, que están instalados en la parte superior de cada uno de los sedimentadores primarios, estos discos plásticos se encuentran sumergidos en el agua en aproximadamente un 40% de su área superficial, y su rotación es accionada por un sistema de motor-transmisión. Con esto se logra el tratamiento del agua residual proveniente del sedimentador primario, aireando los organismos mediante la rotación, permitiendo el crecimiento biológico en los discos

plásticos. A medida que la biomasa va creciendo y la existencia en exceso de esta, cae por la acción de la gravedad y la acción rotativa, en la figura No. 9 se observa las cubiertas que protegen a estos contactores biológicos.

Figura 9. Disposición de los RBC's



Cubiertas donde se encuentran los RBC, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Sedimentador secundaria

Los tanques de sedimentación secundaria son de geometría rectangular, construidas con el fin de realizar la remoción de compuestos biodegradables [15]. El agua tratada en los RBC, son enviadas a los sedimentadores secundarios (Ver figura No. 10), mediante un sistema de cubetos que se encuentran instalados en cada uno de los extremos de los discos.

Figura 10. Tanques de sedimentación secundaria



Tanques de sedimentación secundaria de la PTAR, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Una vez el agua tratada se encuentra en los tanques de sedimentación secundaria, el lodo biológico se sedimenta por la diferencia de densidades, quedando un agua clarificada que pasará al siguiente proceso del tratamiento.

El lodo que se sedimenta es retornado a los tanques de sedimentación primaria, mediante un sistema de recirculación conocido como air lifting. El air lifting es un sistema de bombeo que aprovecha el aumento de la entrada de aire a presión en el agua. Al mismo tiempo, el aire que sube se utiliza para elevar el lodo sedimentado, y recircularlo [16] , el aire necesario para este proceso es suministrado por los sopladores al tanque de igualación.

En el sedimentador secundario existen lodos que quedan en la superficie del agua residual, los cuales son succionados por un sistema de skimmers que aspiran los lodos para enviarlos al sedimentador primario.

1.1.5.3 Tratamiento terciario.

El agua clarificada obtenida de los sedimentadores secundarios, se dirigen por la acción de la gravedad hasta un tanque de pre filtrado el mismo que se observa en la figura No. 11).

Figura 11. Tanque de agua de pre-filtrado



Tanque de recepción del agua filtrada, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Este tanque de hormigón que sirve como almacenamiento del agua clarificada. En este tratamiento terciario se encuentran los siguientes sistemas y/o equipos:

Bombeo de agua a filtros de arena.

En este sistema se disponen de un par de bombas centrífugas (Ver anexo No. 2) que funcionan de forma alternada, estas bombas succionan el agua del tanque de almacenamiento de agua pre filtrada, estas bombas son las encargadas de impulsar el agua para ser distribuidas en los 4 filtros de arena.

En la parte superior del tanque de pre filtrado, se encuentra instalado el instrumento de medición de nivel de tipo radar, este transmisor electrónico capta la variación de nivel del agua, con el fin encender o apagar las bombas centrífugas, según las configuraciones de nivel alto o bajo de agua en el cárcamo de bombeo. Una de las señales de nivel es el de alto-alto, indicando un nivel crítico de agua en el tanque de pre filtrado, esta señal da la alerta para el encendido de las dos bombas para que funcionen de manera simultánea.

Filtros a presión de arena

En este sistema de filtrado se busca reducir aproximadamente un 50% de sólidos suspendidos en el agua, gracias a la filtración del agua por una serie de capas de arena o también conocido como lecho filtrante.

Cuando una de las bombas centrífugas del tanque de pre filtrado entra en funcionamiento al mismo tiempo se abren las electroválvulas permitiendo el ingreso de agua a los filtros de arena por su parte superior. Estos filtros funcionan en paralelo y tienen una forma cilíndrica (Ver figura No. 12), contruidos con láminas de acero norma A-36. En estos filtros el agua pasa de forma descendente por una serie de capas de arena llamado “lecho filtrante”, el cual está conformado por: una capa de arena

gruesa ubicado en la parte inferior, una capa de arena fina y soportados por un lecho de grava gruesa y fina.

Figura 12. Filtros de arena del tratamiento terciario



Filtros de arena, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Bombeo para lavado a los filtros de arena.

Para poder realizar el lavado de los filtros, se invierte el sentido de flujo con una velocidad tal que produzca una expansión del lecho, suficiente para que los granos se froten entre sí y desprendan todo el material que ha quedado retenido en ellos durante la operación de filtración. El caudal de agua necesario para realizar este proceso es impulsado por dos bombas centrífugas (Ver anexo No. 2), las cuales succionan el agua del tanque donde se almacena el agua que es ya filtrada por los filtros de arena. Este tanque rectangular de hormigón tiene una capacidad de 20.4 m^3 .

El lavado de los filtros se lo realiza de manera individual, quedando de esta manera 3 en servicio y un filtro pasa al modo de lavado. El agua proveniente de este lavado de filtros es reenviada al tanque de igualación para su tratamiento.

Desinfección del agua residual a través de cloro líquido

La desinfección es un tratamiento terciario que busca la destrucción de los microorganismos patógenos presentes en los afluentes de las depuradoras de aguas residuales, antes de su vertido a los cuerpos hídricos receptores [17].

Para la desinfección del afluente de la planta de tratamientos, se emplea Hipoclorito de sodio a una concentración del 10%. Estas sustancias son altamente tóxicas para los microorganismos, destruyen su pared celular, causando su muerte. El hipoclorito de sodio es inyectado en el tanque de pre filtrado, para lo cual se usa una bomba de diafragma peristáltica con capacidad de dosificación de hasta 6 galones por día.

1.1.5.4 Tratamiento de lodos

En los tanques de sedimentación primaria y secundaria se producen grandes volúmenes de lodos con alto contenido de agua (99% agua y 1% sólidos); su deshidratación y disposición final pueden representar un alto porcentaje del costo del tratamiento de aguas. Los lodos provenientes del sedimentador primario son bombeados por una bomba tipo cavidad progresiva (Ver figura No. 13), hasta el tanque de digestión aerobia con una capacidad de $100m^3$, construido de hormigón (Ver figura No. 14).

Figura 13. Bomba de extracción de lodos.



Bomba de extracción de lodos de los sedimentadores primarios, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Figura 14. Tanque de digestión aerobia



Tanque de digestión aeróbica de la PTAR, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

La digestión aerobia de lodos de las plantas de tratamiento de aguas residuales permite reducir entre un 35 a 50 % la concentración de sólidos volátiles [15]. Para poder llevar a cabo este proceso es necesario contar con sistema de aireación, la aireación se realiza mediante una distribución de 15 difusores de burbuja gruesa ubicados en la parte inferior del tanque y el caudal de aire es suministrado por dos sopladores de aire en funcionamiento redundante (Ver figura No. 15).

Figura 15. Sopladores de aire



Sopladores de aire para el biodigestor de lodos, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

En este sistema de tratamiento se busca estabilizar el lodo al dejar que los microorganismos presentes entren en la llamada fase endógena en la cual, por falta de alimentos, los microorganismos comienzan a consumir sus reservas alimenticias hasta llegar a una lisis celular (muerte celular), resultando en la destrucción de las células evidenciado en la reducción en el contenido de los sólidos suspendidos volátiles del lodo digerido [13].

Deshidratador de lodos

Los lodos digeridos pasan a un sistema de deshidratación de lodos, que comienza con la succión de los lodos del tanque biodigestor de lodos mediante dos bombas de cavidad progresiva en funcionamiento redundante (Ver anexo No. 2), las mismas que son controladas por un transmisor de nivel que tiene como fin encender o apagar estas bombas, según las configuraciones de nivel alto o bajo de lodo.

El caudal de lodo impulsado por el sistema de bombeo de lodos, ingresan al área de prensado o deshidratado de lodos, donde se dispone de un filtro de bandas para lodos a presión (Ver figura No. 16). Obteniendo de esta manera un lodo prensado con menor contenido de humedad (entre 70% y 80 %).

Figura 16. Filtro de bandas para lodos a alta presión



Filtro de bandas para lodos a alta presión de la PTAR, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

Este filtro de bandas dispone de una bandeja receptora de lodos para posteriormente por gravedad caer en las bandas de tipo tela que avanzan hacia la zona cónica y siendo sometida a compresión entre las dos telas, gracias a un conjunto de rodillos de diámetro decreciente. Obteniendo de esta manera un lodo prensado prácticamente seco.

La tensión de las bandas se realiza por un pistón neumático que es accionado por el suministro de aire comprimido proporcionado por el compresor de aire (Ver Anexo No. 2).

En la bandeja de recepción de lodos se añade polímero flocculante con el objetivo de poder ayudar en la eficiencia de deshidratación de los lodos, este polímero es preparado y dosificado de manera automática gracias al equipo de preparación y dosificación de polímero (Ver Figura No. 17).

Figura 17. Equipo para preparación de polímero



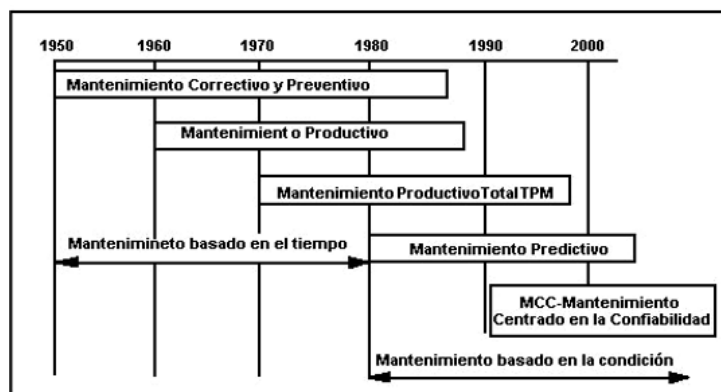
Equipo para preparación de polímero de la PTAR, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

1.2 Fundamentos teóricos de mantenimiento

1.2.1 Historia del mantenimiento

Al inicio las fallas en las máquinas, eran causadas por llevar hasta el límite la capacidad de trabajo de estas, es decir hasta que no eran capaces de ejercer su función, por lo que el mantenimiento lo recibían cuando ya era imposible hacer uso de las mismas, este tipo de mantenimiento es denominado como mantenimiento ante fallo, el cual se sigue observando hasta hoy en día, aunque con menor frecuencia debido a la evolución del mantenimiento, la cual se puede separar cronológicamente en cuatro generaciones, donde cada una de ellas se caracteriza por tener una metodología específica [18]. Como se puede observar en la figura No. 18.

Figura 18. Evolución de los tipos de mantenimiento



Evolución del mantenimiento, Fuente: [19]

1.2.1.1 Primera generación del mantenimiento

La primera generación está situada por la II Guerra Mundial, y se caracteriza por el mantenimiento correctivo en el cual se reparaba la máquina sustituyendo las piezas que han fallado, esta clase de mantenimiento aporta ventajas como el aprovechamiento máximo de las piezas ya que trabajan toda su vida útil hasta la rotura, en aquellos

tiempos la maquinaria existente era sencilla y fácil de reparar y el mantenimiento se limitaba a la limpieza y lubricación [18].

1.2.1.2 Segunda generación del mantenimiento

La industria empezó a mecanizarse y a depender cada vez más de sus equipos, además de incrementar la complejidad debido a la creación de nuevos mecanismos, por lo cual se vio la necesidad de buscar la manera de reducir el tiempo entre averías, ya que las paradas inesperadas de las máquinas se volvían cada vez más frecuentes, llegando a la conclusión que la mejor idea para reducir fallas en los equipos era la prevención, dando lugar al concepto de mantenimiento preventivo [20].

El objetivo del mantenimiento preventivo es de prevenir el fallo en los equipos, basado en una sustitución de piezas periódicas, regularmente la sustitución se realiza independientemente del estado de la pieza, donde se tiene en cuenta el número de ciclos o tiempo trabajado, la elección de los intervalos de sustitución es la parte fundamental en este mantenimiento. [20].

1.2.1.3 Tercera generación del mantenimiento

A partir de los años 70 la industrialización ha ido creciendo, hasta llegar al punto donde los periodos improductivos tienen un gran efecto en la producción, coste y servicio al cliente. Las empresas recomendaron para tener en cuenta aspectos como la seguridad industrial y los daños medioambientales por estas causas, el mantenimiento se tornó una tarea cada vez más compleja y costosa [18].

Se desarrolló el mantenimiento predictivo este método corrige las desventajas del mantenimiento preventivo, ya que cambia las sustituciones por inspecciones. De forma que en vez de cambiar las piezas cada cierto tiempo, se inspeccionan periódicamente. Cada pieza inspeccionada deberá cumplir una clase de parámetros, y en caso de no

cumplirlos se deberá intervenir mediante una operación correctiva reparación o sustitución, para realizar estas inspecciones no se requiere la detención de la máquina, de este modo no se interrumpirá la producción. La medida de los parámetros ruido, vibraciones, temperatura, lubricante, etc., puede realizarse de forma periódica o continua.

1.2.1.4 Cuarta generación del manteamiento

Desde los inicios de los años 90, el mantenimiento se ha distinguido por la sistematización de los procedimientos, actividades y estrategias como la automatización de los procesos que ayuda alcanzar un nivel alto de confiabilidad en los equipos, esta automatización ha hecho posible puntualizar fases en el mantenimiento como son la recopilación de información, el diagnóstico, programación, inspección y optimización en cada una de estas etapas donde se han creado software o aplicaciones que posibilitan la automatización computarizada de estos procesos [21].

1.2.2 Mantenimiento Productivo Total o TPM

Se puede definir TPM como un enfoque administrativo gerencial de soporte al mantenimiento predictivo, con información de la producción que se enfoca en la eliminación de las pérdidas asociadas con fallos (paradas), calidad y costos de los procesos industriales, para tener equipos de producción siempre listos. Este modelo japonés se define como participativo, donde la responsabilidad de la producción recae en toda la estructura de la empresa y pasa de la inspección a la prevención [21].

1.2.3 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad o RCM

Es una metodología desarrollada en la industria de la aviación civil que busca determinar las actividades de mantenimiento necesarias para que los activos fijos sigan

realizando las funciones para las que fueron contruidos, considerando la seguridad de las personas y la integridad del medio ambiente, el proceso RCM involucra la identificación de cuáles son las funciones que debe realizar un activo fijo bajo las condiciones particulares en que opera, involucra el análisis de causas de los estados de falla y sus efectos, estableciendo una actividad de mantenimiento que elimine o reduzca las causas que provocan las fallas a una condición aceptable. Las tareas de mantenimiento deben ser técnicamente posibles de realizarse y su realización debe resolver debidamente las consecuencias que se pretende prevenir [22].

1.2.3.1 Las siete preguntas del R.C.M.

En [18] se explica que el R.C.M responde a una serie de preguntas de cada equipo que son las siguientes:

- ¿Cuáles son las funciones del equipo?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Cuál es la causa de la falla?
- ¿Qué sucede al fallar el equipo?
- ¿Qué ocurre al fallar?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir el fallo?
- ¿Qué sucede si no se puede prevenir el fallo?

El proceso de RCM es un proceso estandarizado de acuerdo con dos normativas técnicas. La normativa SAE JA1011, establece los requerimientos mínimos que debe tener el proceso para ser considerado y por el otro lado, la normativa SAE JA1012 que amplifica y aclara los criterios claves de la primera normativa nombrada.

1.2.3.2 Contexto operacional y funciones de los equipos

El contexto operacional es una descripción del sistema a analizarse, desde lo general hasta lo más específico, detallando la importancia del sistema para la planta. Para el desarrollo del contexto operacional se debe tener en cuenta los siguientes factores [22]:

- Parámetros de calidad.
- Disponibilidad de equipos de respaldo.
- Reglamentos y normativas incluidos en la legislación ambiental del Ecuador.
- Disponibilidad de repuestos, herramientas y personas.
- Parámetros de seguridad.
- Organización turnos.

A partir del contexto operacional, se debe determinar las funciones que el usuario desea que el sistema realice, las funciones son las acciones que el usuario requiere que el activo realice.

Las funciones se dividen según [22] en dos tipos las funciones principales y las funciones secundarias.

Las funciones principales se encuentran relacionadas con la razón por las cuales se ha adquirido un activo, entre estas se encuentran la capacidad de producción, calidad del producto, capacidad de almacenamiento.

Las funciones secundarias son aquellas características adicionales que permiten al sistema cumplir con las funciones principales, están relacionadas con la seguridad, el confort, el control, contención, integridad estructural, apariencia del activo, entre otras.

1.2.4 Jerarquización de los sistemas y/o equipos

Una vez seleccionada un sistema de gestión de mantenimiento, resulta de gran importancia la jerarquización de equipos en base al mayor o menor impacto que generan en los distintos procesos de tratamiento de las aguas residuales que contempla la planta, en la actualidad los sistemas de gestión de mantenimiento tienen claro que no se puede usar un mismo tipo de mantenimiento para todos los equipos de la planta por ejemplo preventivo, correctivo, etc. En [22] indica que antes de iniciar el proceso de RCM es necesario seleccionar los sistemas que se van a analizar por esta metodología de mantenimiento, de esta manera se podrá jerarquizar y agrupar a los distintos equipos que contempla la planta, en función de su análisis de criticidad.

1.2.5 Análisis de criticidad

El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable [23].

Desde el punto de vista matemático la criticidad se puede expresar como:

$$\text{Criticidad} = \text{Frecuencia} \times \text{Consecuencia} \quad \text{Ec. (1.1)}$$

Donde la frecuencia está asociada al número de eventos o fallas que presenta el sistema o proceso evaluado y, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación y los impactos en seguridad y ambiente.

Quedando la consecuencia de la ecuación (1.1) en:

$$\text{Consecuencia} = a + b \quad (1.2)$$

$a = \text{costo de reparación} + \text{impacto salud y seguridad ocupacional} + \text{impacto ambiental}$

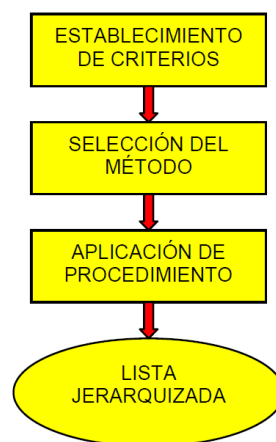
$b = \text{impacto en la producción} * \text{Tiempo Promedio en Reparar}$

Para poder realizar el análisis de criticidad se deben tomar en cuenta varios factores, los criterios que se van a considerar para el análisis de criticidad son:

- Frecuencia de fallas: Son las veces que falla cualquier componente
- Tiempo de duración de fallas: Es el tiempo promedio en reparar la falla
- Afectación en el proceso productivo: Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.
- Afectación a la seguridad: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.
- Medio ambiente: Posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al medio ambiente
- Costos de reparación de los equipos: Costo de la falla más el costo de lo que se deja de producir a consecuencia de la falla

En la figura No. 19 se muestra un modelo básico que utiliza para el análisis de criticidad.

Figura 19. Modelo básico de criticidad



Modelo de criticidad, Fuente: [23]

Para la selección del método de evaluación se toman criterios de ingeniería, factores de ponderación y cuantificación [23].

Las áreas comunes de aplicación se orientan a establecer programas de implantación y prioridades en los siguientes campos:

- Mantenimiento
- Inspección
- Materiales
- Disponibilidad de planta
- Personal

a) En el ámbito de mantenimiento: Al disponer del grupo de equipos más críticos para la planta de tratamientos, se podrá establecer de una manera más eficiente la priorización de los programas de mantenimiento de tipo: predictivo, preventivo, correctivo, así también para establecer la prioridad para la programación y ejecución de órdenes de trabajo.

b) En el ámbito de inspección: Al tener una lista jerarquizada indica donde vale la pena realizar inspecciones y ayuda en los criterios de selección de los intervalos y tipo de inspección requerida para sistemas de protección y control (presión, temperatura, nivel velocidad, espesores, flujo, etc.).

c) En el ámbito de materiales: Con el análisis de criticidad, se podrá tener una idea más acertada a la cantidad de repuestos e insumos necesarios, que se deben de disponer para los equipos con mayor índice de criticidad, logrando también un costo optimo en el inventario.

d) En el ámbito de disponibilidad de planta: Los datos de criticidad permiten una orientación certera en la ejecución de proyectos, dado que es el mejor punto de partida

para realizar estudios de inversión de capital y renovaciones de procesos, sistemas o equipos de una instalación, basados en el área de mayor impacto total, que será aquella con el mayor nivel de criticidad.

e) A nivel personal: Al tener el análisis de criticidad, ayuda con una capacitación más rápida y específica al personal involucrado en la mantención de los equipos, basados en las necesidades reales de las instalaciones críticas.

1.2.6 Análisis de modos y efectos de fallas potenciales (AMEF)

El análisis de modos y efectos de fallas potenciales, AMEF es un proceso sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que estas ocurran con el propósito de eliminar o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son: reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales en el desempeño del sistema, identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial, analizar la confiabilidad del sistema [24].

En [20] se define los siguientes conceptos:

Falla: Es la incapacidad de cualquier activo de hacer aquello que sus usuarios quieren que haga.

Falla funcional: Una falla funcional se define como la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario.

Modo de falla: Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que pueda causar la falla de un activo físico (o sistema o proceso).

Efectos de falla: Luego de que las funciones y modos de falla han sido establecidos, el siguiente paso en el proceso de un AMEF es identificar las consecuencias potenciales cuando se presente un modo de falla. Esto se canaliza a través de una tormenta de ideas con el equipo de trabajo.

Ocurrencia: Las consecuencias son evaluadas en términos de ocurrencias, esta se define como la probabilidad de que una causa en particular ocurra y resulte en un modo de falla durante la vida útil del producto.

1.3 Confiabilidad

La confiabilidad puede ser definida como la *confianza* que se tiene de que un componente, equipo o sistema desempeñe su función básica, durante un período de tiempo preestablecido, bajo condiciones estándares de operación. Otra definición importante de confiabilidad es; probabilidad de que un ítem pueda desempeñar su función requerida durante un intervalo de tiempo establecido y bajo condiciones de uso definidas [19].

1.3.1 Fiabilidad en el coste de ciclo de vida

Para poder diseñar un sistema productivo eficiente y competitivo en el ámbito industrial moderno, es necesario evaluar y cuantificar de forma detallada. En [25] indica los siguientes dos aspectos:

Costos: aspecto que está relacionado con todos los costos asociados al Ciclo de Vida Total esperado del sistema de producción. Incluyendo: costos de diseño, producción,

logística, desarrollo, construcción, operación, mantenimiento / preventivo-correctivo, desincorporación.

Fiabilidad: factor que permite predecir la forma en que los procesos de producción pueden perder su continuidad operacional debido a eventos de fallos imprevistos y evaluar el impacto en los costes que ocasionan los fallos en la seguridad, el ambiente, las operaciones y la producción.

El impacto en los costes que genera un activo de baja Fiabilidad está asociado directamente con el comportamiento de los siguientes dos índices:

El Tiempo Promedio Entre Fallos (TPEF):

$$TPEF = \sum \frac{\textit{Tiempos operacionales}}{\textit{Número de fallos}} \quad \text{Ec. (1.3)}$$

- Sistemas con TPEF cortos, reflejan valores de Fiabilidad bajos y un alto número de fallos.

El Tiempo Promedio Para Reparar (TPPR):

$$TPPR = \sum \frac{\textit{Tiempos de reparación}}{\textit{Número de fallos}} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

- Sistemas con TPPR largos, reflejan valores de Mantenibilidad bajos son sistemas en los que se necesita gran cantidad de tiempo para poder recuperar su función.

El aumento de los costos es ocasionado en su gran mayoría, por la falta de previsión ante la aparición inesperada de eventos de fallos, escenario provocado básicamente por el desconocimiento y por la falta de análisis en la fase de diseño de los aspectos relacionados con la Fiabilidad. Esta situación trae como resultado un incremento en

los costes de operación (costos que no fueron considerados en un principio) afectando de esta forma la rentabilidad del proceso de producción [25].

1.3.2 Disponibilidad

La disponibilidad puede ser definida como la confianza de que un componente o sistema que sufrió mantenimiento ejerza su función satisfactoriamente para un tiempo dado. En la práctica se expresa como el porcentaje de tiempo en que el sistema está listo para operar o producir, esto en sistemas que operan continuamente [19].

Disponibilidad es la probabilidad de que el equipo esté operando satisfactoriamente en el momento en que sea requerido después del comienzo de su operación, cuando se usa bajo condiciones estables, donde el tiempo total considerado incluye el tiempo de operación, tiempo activo de reparación, tiempo inactivo, tiempo en mantenimiento preventivo (en algunos casos), tiempo administrativo y tiempo logístico [26].

Matemáticamente la disponibilidad $D_{(t)}$, se puede definir como la relación entre el tiempo en que el equipo o instalación quedó disponible para producir TMEF y el tiempo total de reparación TMPR [19]. Es decir:

$$D_{(t)} = \frac{TMEF}{TMEF + TMPR} \quad \text{Ec. (1.4)}$$

El TMPR o tiempo medio de reparación, depende en general de [19]:

- La facilidad del equipo o sistema para realizarle mantenimiento
- La capacitación profesional de quien hace la intervención
- De las características de la organización y la planificación del mantenimiento

En [19] menciona que, al calcular la disponibilidad, la mayoría de autores indican que el tiempo a ser considerado, es el tiempo de reparación más los tiempos de espera, que

es lógico, normalmente los tiempos que ocurren entre la parada y el retorno a la operación de un equipo son presentados en la figura No. 20:

Figura 20. Tiempos transcurridos desde la falla de un equipo y su puesta en marcha

t_0	Instante en que se verifica la falla
1	Tiempo para la localización del defecto
2	Tiempo para el diagnóstico
3	Tiempo para el desmontaje (Acceso)
4	Tiempo para la remoción de la pieza
5	Tiempo de espera por repuestos (logístico)
6	Tiempo para la substitución de piezas
7	Tiempo para el remontaje
8	Tiempo para ajustes y pruebas
t_f	Instante de retorno del equipo a la operación

Tiempos transcurridos en la falla, Fuente: [19]

Al observar los tiempos descritos anteriormente, se identifica que directa o indirectamente todos ellos son responsabilidad de los técnicos de mantenimiento, aunque se puede presentar otros tiempos empleados en la consecución de informaciones, aspectos relacionados con la planificación de los servicios y calificación de personal [19].

1.4 Plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento es un documento que contiene el conjunto de protocolos de mantenimiento que se deben realizar en una planta para asegurar los niveles de disponibilidad que se hayan establecido. Es un documento vivo, pues sufre de continuas modificaciones, fruto del análisis de incidencias que se van produciendo en la planta y del análisis de los diversos indicadores de gestión [27].

1.4.1 Tipos de tareas de mantenimiento

Habiendo determinado las medidas preventivas en búsqueda de evitar el fallo o poder minimizar sus efectos, y poder desarrollar la descripción más detallada y generar los planes de mantenimiento.

En [27] indica diez tipos de medidas preventivas:

Tipo 1: Inspecciones visuales suponen un costo muy bajo, por lo que es necesario revisar a todos los equipos de la planta.

Tipo 2: Lubricación, las tareas de lubricación por su bajo coste, se las debe realizar.

Tipo 3: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos propios del equipo verificaciones on-line. Este tipo de tareas consiste en la toma de datos en el PLC en el cual los equipos estén conectados de una serie de parámetros de funcionamiento, como puede ser: la verificación de alarmas, la toma de datos de presión, temperatura, vibraciones, fuera de funcionamiento por mantenimiento etc.

Tipo 4: Verificaciones del correcto funcionamiento realizados con instrumentos de medición del equipo. Se pretende determinar si el equipo cumple con unas especificaciones prefijadas, para cuya determinación es necesario desplazar determinados instrumentos o herramientas especiales, que pueden estar usadas por varios equipos simultáneamente por lo que no están permanentemente conectadas a un equipo, como en el caso anterior. Se puede dividir estas verificaciones en dos categorías:

- Las realizadas con instrumentos sencillos, como pinzas amperimétricas, termómetros por infrarrojos, tacómetros, etc.

- Las realizadas con instrumentos complejos, como analizadores de vibraciones, detección de fugas por ultrasonidos, cámaras termografías, análisis de la curva de arranque de motores, etc.

Tipo 5: Limpiezas técnicas condicionales, dependiendo del estado en que se encuentre el equipo.

Tipo 6: Ajustes condicionales, dependiendo de que el equipo haya dado síntomas de estar desajustado.

Tipo 7: Limpiezas técnicas sistemáticas, realizadas cada cierta hora de funcionamiento, o cada cierto tiempo, sin importar cómo se encuentre el equipo.

Tipo 8: Ajustes sistemáticos, sin considerar si el equipo ha dado síntomas de estar desajustado.

Tipo 9: Sustitución sistemática de piezas, por horas de servicio o por fecha de calendario, sin comprobar su estado.

Tipo 10: Grandes revisiones, con la sustitución de todas las piezas sometidas a desgaste.

Habiendo determinado el modelo de mantenimiento para los grupos de equipos, es posible seleccionar que tareas serían viables. En el caso del modelo de mantenimiento correctivo propuesto para los equipos de criticidad baja, solo serán posibles tareas del tipo 1 y 2, e incluso en determinados casos del tipo 3. En el caso de los equipos críticos que dispongan de actividades predictivas serán posibles las 4, 5, 6. El modelo programado que es tanto para los equipos de criticidad media como para los de alta criticidad, también serán posibles todos los tipos de tareas.

Para los equipos de criticidad alta, teniendo la documentación de los análisis realizados, serán parte importante al momento de la toma de decisiones en el desarrollo de las actividades y frecuencias de mantenimiento.

CAPÍTULO 2

MARCO METODOLÓGICO

Para el desarrollo de los planes de mantenimiento de los equipos que forman parte de la planta de tratamiento de aguas residuales se inició con el levantamiento y búsqueda de información en línea de los equipos, y con la recolección de información técnica proporcionada por los manuales e informes técnicos adquiridos en el transcurso del proyecto, así también las recomendaciones recibidas del personal de operación de los equipos, obtenido de esta manera una lista actualizada de los equipos existentes, con el desarrollo de las fichas técnicas para los equipos enlistados.

Siguiendo con la jerarquización de los equipos utilizando el análisis de criticidad, para poder tener una lista de los equipos más representativos e importantes en forma descendente hasta el equipo menos crítico, esto con el objetivo de poder proporcionar la metodología de mantenimiento adecuada para los equipos de alta criticidad (Criticidad A), de criticidad media (Criticidad B) y de baja criticidad (Criticidad C), ya que no todos los equipos requieren un mismo tipo de mantenimiento.

Ciertos equipos son más importantes que otros, por lo que se enfocó en los equipos del grupo A de criticidad en el desarrollo del contexto operacional, el análisis de modos de falla y efecto (AMFE), un estudio de fiabilidad y disponibilidad, con el objetivo de aumentar su confiabilidad operacional. Mientras que a los equipos considerados con criticidad media y baja se implementó un plan de mantenimiento basado en una serie de instrucciones genéricas, obtenidas de los manuales técnicos de los equipos, recomendaciones del personal encargado en la operación, obteniendo de esta manera documentación e información importante para el desarrollo del plan de mantenimiento.

2.1 Levantamiento en línea y codificación de equipos

La documentación del proyecto inicia por realizar un listado de todos los equipos que contempla la planta de tratamiento. Los equipos se encuentran agrupados dentro de los subsistemas o proceso del tratamiento.

Los equipos de la planta de tratamiento disponen de su propia codificación que fue realizada al inicio del proyecto por la empresa ISA S.A. Estos códigos (TAG) de identificación de los activos de la planta, en la tabla No. 2 se observa el formato empleado para realizar el listado de los equipos.

Tabla 2. Formato de listado de equipos

LISTADO DE EQUIPOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL NUEVO AEROPUERTO INTERNACIONAL "MARISCAL SUCRE"				
UNIDAD DE PROCESO: TRATAMIENTO PRIMARIO				
Equipo	TAG:	Características y capacidad	Especificaciones	Localización
Flotación por aire difuso (DAF)	T-0003	Material : Acero inoxidable de 4mm Caudal: Promedio de 240 GPM(15.2 L/s) Caudal pico: 480 GPM(30.4 L/s) Forma: Cilíndrica Incluye: 3 brazos raspadores superiores, 3 brazos raspadores inferiores	Dimensiones: Altura 3.05m, Diámetro 4.49m Línea de ingreso de agua PVC de 4" Línea de salida de agua tratada, plegable de 6". Línea de salida de lodos flotantes, PVC 6" Líneas de salida de lodos ,PVC plegable de 6". Peso seco:5 TON Peso en operación: 55 TON	Tratamiento Primario
Bombas sumergibles	SP-0003	Tipo: Desfibradora Marca: HYDROMATIC PENTAIR Modelo: S4S 500M3-4 Voltaje: 220 v	Motor: 5HP / 3PH / -230-460 v Descarga: 4" Tamaño máximo de solidos a manejar : 3" RPM: 1750	Cárcamo de Bombeo
Bombas sumergibles	SP-0004	Tipo: Desfibradora Marca: HYDROMATIC PENTAIR Modelo: S4S 500M3-4 Voltaje: 230 v	Motor: 5HP/3PH/460v Descarga: 4" Tamaño máximo de solidos a manejar : 3" RPM: 1750	Cárcamo de Bombeo
Transmisor e indicador de nivel	LIT-0002	Tipo: Radar Marca: ENDRESS + HAUSER Modelo: Micropilot M FMR244	Distancia máxima de medida: 15m Precisión: ±3 Salida de corriente: 4 a 20 mA	Cárcamo de Bombeo

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

La hoja del listado completo de los equipos se detalla en el apéndice No. 2, con la mayor cantidad de especificaciones técnicas de los equipos e instrumentación que conforman cada uno de los sistemas que componen la planta de tratamiento.

2.1.1 Fichas técnicas de los equipos

La ficha técnica se diseñó de tal manera que pueda reflejar los datos más sobresalientes y proporcione de manera oportuna la información relevante de cada equipo.

En la figura No. 21 se puede observar un extracto de la ficha técnica que se realiza para las bombas de lodos PCP-001, ubicados en la sección de tratamiento de lodos. En el apéndice No. 3 se puede observar las fichas técnicas del resto de equipos.

Figura 21. Formato de ficha técnica

		Ingeniería y Servicios Ambientales		10/05/2017															
FICHA TÉCNICA BOMBA DE LODO																			
TAG: PCP- 0001																			
DATOS GENERALES																			
Marca	SEEPEX	Fabricante		Operación	29 / 01 / 2015														
Modelo	BW 2	Año																	
N.- Serie	841517-841520	Proveedor	UsaBlueBook																
N.- Manual	5.1 PCP0001_2_3 O&P	Procedencia	EE UU																
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS																			
MOTOR Marca: WEG Potencia: 1.5 HP Fases: 3PH V: 230-460V Hz: 60 RPM : 1730 Posición de montaje: M1 (B3/B5) DATOS DE BOMBA Succión: 1" NPT Descarga: 1" NPT Capacidad Máxima: 10,5GPM																			
DATOS PARA MANTENIMIENTO																			
Mantenimiento subcontratado	Consumibles	Repuestos críticos en stock																	
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>PARTE</th> <th>ITEM-</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PLANO</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rotor</td> <td>600</td> </tr> <tr> <td>Estator</td> <td>601</td> </tr> <tr> <td>Unión Universal</td> <td>405</td> </tr> <tr> <td>Banda de sujeción, pequeña</td> <td>407</td> </tr> <tr> <td>Banda de tenencia, grande</td> <td>406</td> </tr> </tbody> </table>				PARTE	ITEM-	PLANO		Rotor	600	Estator	601	Unión Universal	405	Banda de sujeción, pequeña	407	Banda de tenencia, grande	406
PARTE	ITEM-																		
PLANO																			
Rotor	600																		
Estator	601																		
Unión Universal	405																		
Banda de sujeción, pequeña	407																		
Banda de tenencia, grande	406																		
Observaciones																			
Para evitar los gastos ocasionados por largos períodos de parada de la bomba, seepex recomienda la adquisición de un conjunto de piezas de desgaste y un juego de juntas. La tabla de kits de piezas se puede revisar en el Documento: 5.1 PCP0001_2_3 O&P																			

Elaborado por: Hechavarría Sánchez Marcos A.

2.1.2 Hojas de registro de histórico de fallas

Se presenta las actividades de mantenimiento que se obtuvo de las hojas de registro diarias de los equipos, proporcionada por el personal de mantenimiento de la empresa ISA S.A.

Para facilitar el estudio se separó las actividades en dos diferentes hojas de registro, una en la que se muestra los mantenimientos correctivos (Ver tabla No. 3) y otras en las que muestra los registros de historial del mantenimiento preventivo de cada equipo (Ver tabla No. 4).

Tomando como ejemplo el equipo moto reductor MV-0001, donde constan las actividades realizadas en un periodo de 12 meses correspondiente al año 2016, obteniendo como datos importantes, las fallas y el tiempo de reparación y aplicación de cada mantenimiento, información necesaria para continuar con el análisis de fiabilidad y mantenibilidad.

Los datos expuestos son el resultado del levantamiento realizado de las hojas de registros diarias que disponen los operarios, así también de los informes mensuales que se realizan, con el fin de dar a conocer datos y acontecimientos importantes dentro de los procesos de la planta.

En el apéndice No. 4 se muestran las hojas de registro de mantenimiento correctivo y el apéndice No. 5 se muestran las hojas del registro de historial de los mantenimientos preventivos de cada equipo.

Tabla 3. Fichas del mantenimiento correctivo

HOJA DE REGISTRO					
Equipo	Código: / TAG				
Motorreductor	MV-0001				
Mantenimientos correctivos					
Fecha	O. T	Trabajo realizado	Recursos	Tiempo (h)	Obs.
20-03-16		Cambio de la hélice " Aletas recolectoras"	Empaque, llave corona	72	
30-05-16		Cambio de hélice por una nueva	Llave de pico, cuerda, desarmador	48	
30-05-2016		Tiempo (h)	Llave de pico, cuerda, desarmador	48	
20-10-2016		Cambio de la membrana	Llaves	48	
23-01-2017		M.C. Armado del motor	Llave de pico, guaypes	72	
Total fallas		Operación			
		5			
Tiempo en reparación de fallas (Horas)		288			

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Tabla 4. Ficha de historial

HOJA DE REGISTRO					
Equipo		Código: / TAG			
Motorreductor		MV-0001			
FICHA DE HISTORIAL					
Fecha	O. T	Trabajo realizado	Recursos	Tiempo (h)	Obs.
06-03-2016		M.P. Lubricación en chumaceras	Grasa sintética	6	
18-03-2016		Lubricación programada de chumaceras	Grasa sintética	6	
20-03-2016		Cambio de la hélice " Aletas recolectoras"	Empaque, llave corona	12	Los tornillos de sujeción se encuentran oxidados
27-03-2016		Cambio programado de aceite, de la caja reductora superior	Aceite, llave de pico, embudo	6	
04-04-2016		Se envía a mantenimiento correctivo		12	
30-04-2016		Lubricación programada de chumaceras	Grasa sintética	6	
28-05-2016		Lubricación programada de chumaceras	Grasa sintética	6	
30-05-2016		Cambio de la pieza	Llave de pico, cuerda, desarmador	12	
24-06-2016		M.P. limpieza motor, ventilador, lubricación	Llave corona, guaípe, aceite	6	
16-09-2016		Lubricación programada de chumaceras	Grasa sintética	6	
20-10-2016		Cambio de la membrana	Llaves	6	
28-10-2016		Lubricación programada de chumaceras	Grasa sintética	6	
09-11-2016		Cambio programado de aceite, limpieza motor, reductor	Aceite, guaípe, llaves	6	
13-01-2017		M.P. Motor	Llaves y guantes	6	Rectificar engranajes
23-01-2017		M.P. armado del motor	Llave de pico, guaípes	12	
16-09-2016		Lubricación programada de rodamiento	Grasa sintética	6	
27-10-2016		Lubricación programada de rodamiento	Grasa sintética	6	
09-11-2016		Cambio de Aceite de los reductores	SAE 90	6	
TIEMPO MEDIO DE REPARACIÓN (Horas)				132	

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.2 Jerarquización de los equipos aplicando el análisis de criticidad

El análisis de criticidad de los equipos es una herramienta que ayudará a conocer los equipos considerados como más importantes dentro del proceso de la planta, y de tal manera poder priorizar ordenes de trabajo y disponer de repuestos necesarios, para la sustitución de manera oportuna en caso de llegar a fallar el equipo. Se destinará la mayor parte de recurso a los equipos que resulten con criticidad alta.

2.2.1 Recolección de información para el análisis del valor de criticidad

La información que se requiere para poder realizar el análisis de criticidad se obtuvo mediante la adaptación de un modelo estándar de encuesta en PDVSA E&P [23]. Este formato permite recoger información de parte del personal que se encuentra directamente involucrado en la operación y mantenimiento de la planta de tratamiento, como es el personal técnico y de operación. Este método está basado exclusivamente en los criterios que pueden proporcionar el personal seleccionado, en base a sus conocimientos y experiencias personales.

Los colaboradores para la recolección de datos del Análisis de Criticidad son:

- Gerente Técnico
- Asistente Técnico
- Operarios del área (cantidad: 2)

Para poder empezar con el diseño y adaptación de esta encuesta para los equipos de la planta de tratamiento, se empezó con una reunión con el personal técnico, con el fin de poder agrupar los equipos en sus respectivos sistemas y puedan formar parte de la encuesta del Análisis de Criticidad.

Posteriormente al tener el diseño y adaptación del formato para la realización de la encuesta, se procedió a dar una pequeña charla del contenido y diseño de esta encuesta,

aclarando cada pregunta a todos los colaboradores, garantizando el entendimiento del contenido de esta encuesta, así como el uso que se dará a los resultados que se obtengan, generando de esta manera una mayor importancia e interés al momento de poner sus respuestas.

El formato de encuesta que se entregó a cada uno de los colaboradores se muestra en el apéndice No. 6. En la tabla No. 5 se puede observar un extracto de este formato

Tabla 5. Formato para encuesta Análisis de Criticidad

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO TABLA DE VALORES DE CRITICIDAD		TRATAMIENTO PRELIMINAR					SECUNDARIO		T. TERCIARIO		
		TANQUE DAF			TANQUE DE IGUALACIÓN		RBCs		SISTEMA FILTROS DE ARENA		
PERSONA: AREA/SECCIÓN: FECHA:	EQUIPO/SISTEMA	BOMBAS SUMERGIBLES: SP-0003/ 4	MOTOR-AERADOR: MA-0001	MOTOR REDUCTOR: MV-0001	BOMBAS SUMERGIBLES: SP-001/02	SOPRADORES DE AIRE: AB-105-106-107	ESTRUCTURA DE SOPORTE RBCs-CHUMACERAS	MOTOR-REDUCTOR:	BOMBAS CENTRIFUGAS: PCF-0001/2	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORO: DP-0001	BOMBAS CENTRIFUGAS: PCF-0003/4
GUÍA DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PTAR											
FRECUENCIA											
FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)		PUNTAJE									
No mas de 1 por año		1									
Entre 2 y 15 por año		2									
Entre 16 y 30 por año		3									
entre 31 y 50 por año		4									
Mas de 50 por año (Mas de una parada semanal)		5									
CONSECUENCIA											
IMPACTO SOBRE EL PROCESO DE TRATAMIENTO		PUNTAJE									
No interfiere con el proceso de tratamiento		0.05F									
25% de Impacto		0.3F									
50% de Impacto		0.5F									
75% de Impacto		0.8F									
interfiere totalmente en el proceso de tratamiento		1F									
TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN DE AVERÍAS. MTTR		PUNTAJE									
Menos de 4 horas		1									
Entre 4 y 8 horas		2									
Entre 8 y 24 horas		3									
Entre 24 y 48 horas		4									
Mas de 48 horas		5									
COSTO DE REPARACIÓN (DOLARES)		PUNTAJE									
menor de \$. 1000.00		5									
mayor de \$. 1500.00		10									
AFECTA A LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS E INSTALACIONES		PUNTAJE									
No origina heridas ni lesiones		0									
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes		5									
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes entre 1 y 30 días		10									
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes superior 30 días o incapacidad permanente		25									

Encuesta análisis de criticidad, Fuente [23]

Esta tabla está compuesta por 6 preguntas o criterios para la recolección de información, cada pregunta dispone de una ponderación diferente, en donde dependiendo de la respuesta de cada pregunta se le asigna un valor, estos valores se puede observar en el lado izquierdo de cada pregunta; Al igual que la tabla estas ponderaciones se encuentra estandarizada por [23].

La definición de cada criterio o pregunta es:

Frecuencia de falla: Son las veces que falla cualquier componente del sistema.

Impacto sobre el proceso de tratamiento: Es el porcentaje de producción que se afecta cuando ocurre la falla.

Tiempo promedio para reparar: Es el tiempo para reparar la falla.

Costo de reparación: Costo estimado de solución de la falla.

Impacto en seguridad: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños a personas.

Impacto ambiental: posibilidad de ocurrencia de eventos no deseados con daños al ambiente.

2.2.2 Cálculo del valor de criticidad de los equipos

Con los valores que se obtienen de la encuesta, se promedian para cada uno de los equipos, lo siguiente es calcular la criticidad aplicando la *Ec. 1.1* y la *Ec. 1.2*, descrita anteriormente en el marco teórico, este procedimiento se detallara con un ejemplo en el siguiente capítulo.

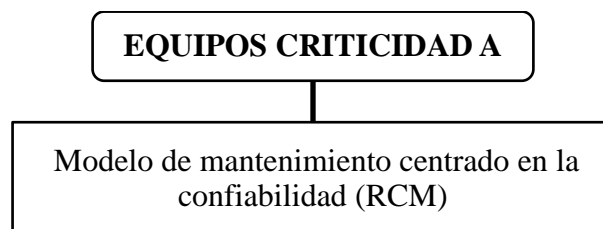
2.3 Selección del tipo o modelo de mantenimiento para los equipos

Teniendo determinados los valores de criticidad, y habiendo agrupado a los equipos con criticidad alta, media y baja, se puede designar el tipo de modelo de mantenimiento a ejecutar en los grupos de equipos y de esta manera poder obtener los planes de mantenimiento.

2.3.1 Modelo de mantenimiento para los equipos

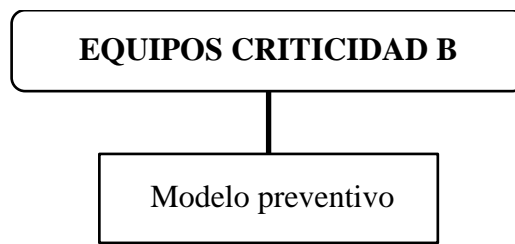
Para los equipos resultantes del grupo de alta criticidad, se realiza un estudio más profundo por lo que se implementará el modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad o RCM. Como se había mencionado con anterioridad este tipo de mantenimiento se enfoca en realizar las actividades necesarias para que las instalaciones sigan cumpliendo con las exigencias del usuario, reducir las intervenciones de mantenimiento y aumentar la confiabilidad de los equipos durante su ciclo de vida, mientras que a los equipos del grupo de criticidad B, se les asigna el modelo de mantenimiento preventivo que pueden ser programados y no programados y finalmente a los equipos del grupo de criticidad C, se les asigna una combinación de las metodologías de mantenimiento preventivo y correctivo.

Esquema 1. Modelo de mantenimiento designado a los equipos críticos.



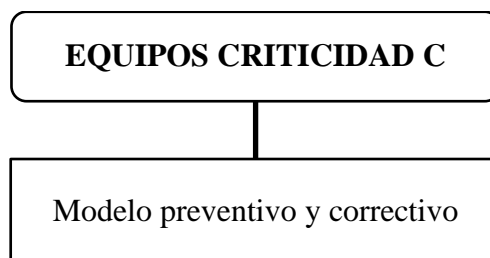
Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Esquema 2. Modelo de mantenimiento designado a los equipos con media criticidad



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Esquema 3. Modelo de mantenimiento designado a los equipos con baja criticidad.

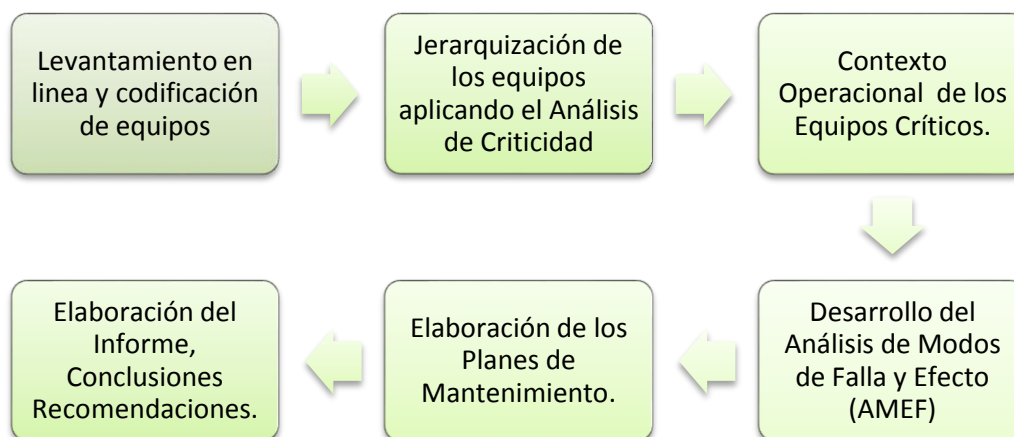


Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.4 Aplicando el proceso RCM a los equipos con criticidad alta

Para poder llevar acabo la implementación de este proceso y poder generar de esta manera los planes de mantenimiento de los equipos que conforma la planta de tratamiento de aguas residuales, se realizó una serie de procesos consecutivos o flujo de trabajo, con la finalidad de llevar un orden de documentación, gestión y la correcta implementación del RCM, Este flujo de trabajo se detalla a en la siguiente figura.

Esquema 4. Modelo básico de criticidad



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.5 Contexto operacional de los equipos con criticidad A

Contexto operacional moto reductor del tanque de flotación por aire disuelto (DAF)

Dentro del tratamiento primario de la Planta de Tratamiento de aguas residuales se encuentra el motor reductor con su TAG: MV-0001 ubicado en el tanque de flotación por aire difusor (DAF), es uno de los equipos críticos.

El medio que rodea al moto reductor está contaminado ya que por la incidencia de la luz solar se produce evaporaciones de partículas de aguas cargadas con grasa perteneciente al agua tratada en el interior del tanque está expuesto a vibraciones generadas por el mismo sistema y por el motor del Microfloat con su TAG: MA-0001 el cual está acoplado a la estructura del tanque

El moto reductor entra en funcionamiento junto con el DAF entrando en operación en abril del 2015 con una capacidad de 12 L/s y una capacidad máxima de 30 L/s, en las fichas de inspección semanal de los equipos se tiene un registro de funcionamiento del

manorreductor desde el 06 de marzo del 2016, operando 23 horas/día, se apaga de 2:00 am a 3:00 am posteriormente continua con su funcionamiento, no tiene equipo de reserva por lo que sobresale en los equipos críticos, la planificación del trabajo de los operarios es de lunes a viernes de 8:00 a 15:00.

Funciones principales:

Transmitir potencia de 0,5 hp a los brazos recolectores de grasas y lodos

Reducir la velocidad de revolución para el accionamiento de los brazos recolectores de grasa y lodos.

Contexto operacional bomba de lodos: PCP-0003

La bomba PCP-0003 está encargada de succionar las partículas de lodo que se acumulan en la parte inferior de los cuatro RBC, y enviar el agua contaminada al tanque de tratamiento de lodos.

Esta bomba se encuentra automatizada es decir se enciende cada vez que el nivel del tanque de tratamiento de lodos se encuentre en un nivel bajo y se enciende hasta alcanzar un nivel alto, que es de 1.5 metros.

Se encuentra apoyada fijamente a una base de concreto y está expuesta a humedad y grasa, por encontrarse alado de los tanques de agua contaminada.

Función principal:

- Bombear lodo a un flujo constante
- Contener fluido sin ninguna fuga

Contexto operacional del moto reductor de los contactares biológicos rotatorios (RBC's)

El moto reductor se encuentra ubicado en el tratamiento secundario en los RBC's, es el encargado de transmitir movimiento y fuerza a los ejes de los bio-discos que giran a 2 r.p.m.

Función principal:

- Transmitir potencia de 3hp a los ejes de los discos biológicos rotatorios RBC
- Reducir la velocidad de revolución para el accionamiento de los discos biológicos rotatorios RBC.

Contexto operacional compresor de aire CCP-0001

En el tratamiento de lodos se encuentra una máquina que es la encargada de extraer el lodo lo más seco posible, para ayudar a este proceso se utiliza un compresor el cual envía aire a la cámara de la banda donde ayuda al secado del lodo extrayendo las partículas de agua que se encuentran en el mismo.

Función principal: Suministrar aire comprimido a una presión mínima de 3 a 5 kg/cm²

2.6 Fiabilidad de los equipos

Para lograr determinar de la fiabilidad y la mantenibilidad de los equipos, se realizó un resumen de los registros del mantenimiento de las tablas No 3 y 4, buscando encontrar el número de fallas, el tiempo que se demora en corregir la falla, datos muy importantes para el análisis.

El tiempo de falla en la planta de tratamiento es un estimado de 48 horas debido a que el trabajo de mantenimiento correctivo no se realiza en el interior de la planta, sino que se subcontrata a terceras personas para que lo realicen.

En la tabla No. 6 constan datos como la fecha, el número de orden de trabajo, la tarea realizada, los recursos utilizados, el tiempo empleando en el mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y las respectivas observaciones. En la parte inferior de esta tabla se encuentra la cantidad de fallas y el tiempo en reparar la o las fallas. Para así obtener los resultados para poder encontrar los tiempos promedio entre fallas (TPEF) y el tiempo promedio para reparar (TPPR) que son índices que ayudarán a identificar la fiabilidad y la mantenibilidad de cada equipo.

El tiempo de operación para todos los equipos serán los 365 días del año.

El tiempo promedio para reparar, es la suma del tiempo entre mantenimiento preventivo y mantenimientos correctivos, TPEF se obtiene aplicando la ecuación *Ec.* (1.3) y el TPPEF aplicando la ecuación *Ec.* (1.4)

Tabla 6. Formato para encontrar TPEF y TPPR

EQUIPO	LOCALIZACIÓN	CRITICIDAD

DATOS DE OPERACIÓN	
Opera Horas/ día	
Opera Horas /Año	
Fallas en operación	

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLOS	
Total horas operación	
Número de fallas en operación	
Tiempo Promedio entre fallos (TPEF)	

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	
Tiempo para reparar	
Número de fallas en operación	
Tiempo Promedio para reparar (TPPR)	

Adaptado y Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.7 Disponibilidad de los equipos

La disponibilidad de los equipos es un parámetro que indica cómo está funcionando el equipo. Por ejemplo, si un equipo presenta demasiadas paradas y no ha logrado mantenerse en funcionamiento, es necesario obtener datos del tiempo total de operación, el tiempo que el equipo presenta paradas ya sea para realizar mantenimiento preventivo o mantenimiento correctivo.

Para el cálculo de la disponibilidad se usará la ecuación *Ec. (1.5)*.

2.8 Desarrollo del Análisis de Modos de Falla y Efecto en los equipos críticos

Con la descripción del contexto operacional e identificando las funciones principales de los equipos a ser analizados mediante la metodología RCM, se procede a realizar el Análisis de Modos de Falla y Efecto.

2.8.1 Desarrollo de la hoja de información de los modos y efectos de falla

La hoja de información contiene de manera resumida y ordenada la o las funciones principales de los equipos, la falla funcional, el modo de falla y el efecto de falla (Ver tabla No. 7).

El formato de información de RCM fueron llenados siguiendo los siguientes criterios:

- La función es la misma descrita en el contexto operacional de los equipos.
- La falla funcional se la describe como la anti función. Como el no cumplimiento de la función.
- Los modos de falla son tomadas como circunstancias que acompañan a un fallo concreto.
- El efecto de falla describe que pasa cuando ocurre un modo de falla.

Se debe hacer una hoja de información nueva para cada equipo.

Tabla 7. Formato de información RCM II

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA: Flotación por Aire Difuso (DAF)				
		SUB-SISTEMA / EQUIPO: Motor Reductor MV-0001				
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODOS DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Transmitir potencia de 0,5hp a los brazos recolectores de grasas y lodos	A	Reductor no acciona	1	Engranajes trancados por falta de aceite	Brazos recolectores de grasas y lodos, fuera de servicio
				2	Motor eléctrico fuera de servicio, por sobrecarga o falla eléctrica.	
				3	Daño de las chumaceras de soporte, por falta de lubricación	

Adaptado y Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.8.2 Desarrollo de la hoja de decisión RCM

Habiendo desarrollado la hoja de información de RCM de los equipos dentro de la lista de criticidad A, lo siguiente es desarrollar la hoja de decisión que es el segundo documento importante en la aplicación RCM, este documento sirve para poder registrar las respuestas que se obtienen con la ayuda del diagrama de decisión (Ver Apéndice No. 7). En la tabla 8 se puede observar un extracto del formato usado para registrar las respuestas formuladas en el diagrama de decisión de RCM, y en función de dichas respuestas, según [28] se debe registrar:

- Que mantenimiento de rutina si lo hay será realizado, con qué frecuencia será ejecutado.
- Que fallas son lo suficientemente serias como para justificar el rediseño.
- Casos en los que se toma la decisión deliberada de dejar que las fallas ocurran.

Tabla 8. Hoja de decisión RCM II

HOJA DE DESICIÓN RCM II								SISTEMA: Flotación por Aire Difuso (DAF)										
								SUB-SISTEMA / EQUIPO: Motor Reductor MV-0001										
REFERENCIA DE INFORMACIÓN			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA		INTERVALO INICIAL		A REALIZARSE POR	
							S1	S2	S3									
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3	H4	H5	S4						
							N1	N2	N3									

Adaptado y Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

De la tabla de información (Ver tabla No. 7), la referencia de información sirve para relacionar la hoja de información con la hoja de decisión (Ver tabla No. 8), de tal manera que:

- F: Indica la función registrada en la hoja de información.
- FF: Indica la falla funcional registrada en la hoja de información
- FM: Indica la modo de falla registrada en la hoja de información

Los encabezamientos de las próximas diez columnas se refieren a las preguntas del diagrama de decisión de RCM que se presentan el apéndice No. 7, de tal manera que:

- Las columnas tituladas H, S, E, O y N son utilizadas para registrar las respuestas a las preguntas concernientes a las consecuencias de cada modo de falla
- Las tres columnas siguientes (tituladas H1, H2, H3, etc.) registran si ha sido seleccionada una tarea proactiva, y si es así, que tipo de área.
- Si se hace necesario responder cualquiera de las preguntas “a falta de” las columnas encabezadas con H4 y H5, o las S4 son las que permitirán registrar esas respuestas.

Las tres columnas restantes registran la tarea que se ha seleccionado, la frecuencia propuesta, y a quien se designará esta tarea.

2.9 Desarrollo del plan de mantenimiento

Para el desarrollo del plan de mantenimiento preventivo se realizaron varias visitas a la planta para la obtención de información y documentación, incluida una visita que se la realizó en conjunto con el tutor de la tesis para que pueda observar la situación actual de la planta y ver el estado de cada uno de sus equipos, donde el técnico a cargo del mantenimiento ayudo exponiendo sobre los diferentes procesos que se ejecutan en la planta para lograr descontaminar el agua.

Habiendo realizado el levantamiento de la lista de los equipos con su respectiva codificación (TAG), se elaboró fichas técnicas de cada equipo en donde constan los datos de placa y especificaciones técnicas de cada equipo.

La empresa ISA realiza el registro del mantenimiento de donde se recopiló información acerca de las tareas de mantenimiento que se realizó a los diferentes equipos permitiendo así tener detalles importantes acerca del tiempo que el equipo está operativo y de las diferentes fallas que tuvieron cada uno.

Esta información se la clasificó para cada equipo haciendo un registro de actividades donde se separó las actividades de mantenimiento correctivo y mantenimiento preventivo y de las cuales se obtuvieron los tiempos promedios para reparar y el número de fallas, datos importantes para determinar la disponibilidad de cada equipo.

Se realizó el análisis de criticidad para los equipos de planta donde se obtuvieron tres grupos de criticidad A,B,C donde a los equipos del grupo con Criticidad A, se le aplico la metodología RCM con el fin de determinar las actividades de mantenimiento y las frecuencias de mantenimiento preventivo y en el caso de ser necesario correctivo, por ser los equipos con mayor importancia en el proceso de tratamiento de aguas, a los equipos con criticidad B se realizó las tareas de mantenimiento preventivo

recomendadas en los manuales de mantenimiento y en conjunto con las recomendaciones del personal técnico encargado de la operación y mantenimiento de la planta, los equipos pertenecientes al grupo de criticidad C se realiza las tareas de mantenimiento en algunos casos preventiva y en otros casos correctivas ya que son equipo que no tiene un gran impacto en la operación de la planta.

2.9.1 Tipos de tareas según el modelo de mantenimiento

En un plan de mantenimiento existirán actividades o tareas de mantenimiento que fueron clasificadas según el tipo de mantenimiento como se presentó en el capítulo 1. En la tabla No. 9, se puede ver el resumen de las tareas de mantenimiento que se le aplicara a los diferentes equipos según el modelo de mantenimiento seleccionado, los mismos que se clasifican en 10 tipos de tareas de mantenimiento y estos se podrán ver reflejados en la matriz de mantenimiento, de tal manera que estos datos se puedan filtran y obtener las actividades de mantenimiento de manera ordenada y agrupada según el tipo de mantenimiento.

Tabla 9. Tipos de tareas según el modelo de mantenimiento.

Tipos de tareas de mantenimiento	Modelos de mantenimiento a los que se le puede aplicar este tipo de tareas			
1. Inspecciones visuales	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
2. Tareas de lubricación	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
3. Verificación on-line	Correctivo	Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
4. Verificación off-line: Verificaciones sencillas <i>Medición de temperatura</i> <i>Medición de vibración(con vibrometro)</i> <i>Medición de consumo de corriente</i> Verificación con instrumentos complejos <i>Análisis de vibraciones (con analizador)</i> <i>Termografías</i> <i>Detección de fugas por ultrasonido</i> <i>Análisis de la curva de motores</i> <i>Comprobaciones de alineación por laser</i>		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
5. Limpieza según condición		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
6. Ajustes condicionales		Condicional	Sistemático	Alta Dispon.
7. Limpiezas sistemáticas			Sistemático	Alta Dispon.
8. Ajustes sistemáticos			Sistemático	Alta Dispon.
9. Sustitución sistemática de piezas			Sistemático	Alta Dispon.
10. Grandes revisiones (sustitución de todos los elementos sometidos a desgaste)				Alta Dispon.

Tipos de tareas de mantenimiento, Fuente: [27]

2.9.2 Tareas generales de mantenimiento al inicio de cada jornada laboral

Son actividades de mantenimiento que se las debe realizar al inicio de cada jornada laboral y en su mayoría son actividades de control e inspección.

- Antes de empezar trabajos de mantenimiento o reparaciones de los equipos, compruebe que se encuentre desconectada y aislada del suministro eléctrico y que no pueda recibir tensión.
- Asegúrese de que todos los pernos y tuercas estén apretados y seguros. Apriete todos los sujetadores aflojados, accesorios, conexiones y montajes.
- Revisar y retirar cualquier objeto en el cárcamo de bombeo que pueda ser dañino para el sistema de bombeo. Ejemplo: Prendas de vestir, trapos, guantes, etc.
- Compruebe las unidades RBC para una rotación suave. Preste especial atención por cualquier ruido inusual.
- Compruebe que las bombas de despegue de la eliminación de escoria (SKIMMERS) del clarificador secundario, funcionen correctamente. Quitar de la superficie del agua cualquier gran masa flotante que tapa el flotador de escoria.
- Compruebe que los sopladores de aire (BLOWERS) funcionen correctamente, que no haya vibraciones ni ruidos anormales. Asegúrese de que las correas del ventilador no estén demasiado gastadas. Si se requiere una inspección minuciosa de los sopladores, siga todas las reglas y leyes de seguridad. Disponibilidad del manual del equipo
- Compruebe que los filtros de entrada del soplador de aire no estén obstruidos.
- Compruebe las fugas del sistema de tuberías y equipos.
- Compruebe todos los medidores de flujo y averigüe cualquier estado anormal.

- Compruebe que las válvulas de aire del tanque del EQ y el sistema de aireación funcionen correctamente. Preste atención a burbujas de aire grandes inusuales, que pueden indicar difusor roto o tubo de aire.
- Inspección visual interior DAF. Comprobar correcto funcionamiento, pernos flojos, integridad del sistema, remover basura del tanque si es necesario

2.9.3 Tareas para realizar en el moto reductor MV-0001 pertenecientes al grupo con criticidad A

Las actividades propuestas para este grupo de equipos se las obtuvieron mediante la hoja de decisión RCM donde se muestran las actividades a realizar con su respectiva frecuencia de mantenimiento, se presentan las siguientes actividades:

- Verificación visual del nivel de aceite, intervalo mensual
- Verificación parámetros eléctricos, intervalo semanal
- Lubricación chumacera, intervalo quincenal
- Cambio de aceite, intervalo semestral

Las actividades de mantenimiento para cada equipo perteneciente al grupo con criticidad A, se las puede observar en el apéndice No.13.

2.9.4 Tareas para realizar a las bombas de lodos PCP-0001/2 pertenecientes al grupo con criticidad B

Las actividades de mantenimiento para este grupo de equipos se las obtuvieron de los manuales de los fabricantes, los mismos que en algunas ocasiones se encontraban en diferentes idiomas debido a que los equipos fueron importados de diferentes países.

Otro aspecto que se tomó en cuenta para la designación de actividades y periodo de intervención del mantenimiento preventivo fueron las recomendaciones de los

operarios que ayudaron añadir nuevas tareas y rutinas de mantenimiento que no se encontraban en las recomendaciones del fabricante, en el caso de las bombas de lodo PCP-0001/2 se obtuvieron las siguientes actividades:

- Ajuste condicional de estructura y anclaje, intervalo semanal.
- Limpieza sistemática de las válvulas check y de bola de la línea de salida, intervalo semanal.
- Inspección visual de la no existencia de fugas de fluido en el estator y junta de eje, intervalo semanal.
- Limpieza sistemática del estator y rotor, intervalo semanal.

Las actividades de mantenimiento para cada equipo perteneciente al grupo con criticidad B, se las puede observar en el apéndice No.14.

2.9.5 Tareas para realizar a las bombas centrífugas PCF-0001/2/3/4 pertenecientes al grupo con criticidad C

Las actividades de mantenimiento para este grupo de equipos se las obtuvieron del manual del fabricante al igual que las recomendaciones de los operarios de la planta. Se aplica el mantenimiento correctivo a los equipos que se pueden arriesgar a que fallen, ya sea porque su impacto en los procesos de la planta es mínimo.

En el caso de las bombas centrífugas se obtuvieron las siguientes actividades:

- Inspección visual de fugas de fluido en las empaquetaduras, intervalo semanal.
- Revisión de los parámetros eléctricos.
- Inspección visual de las fugas de fluido, intervalo semestral.
- Ajuste condicional de estructura y anclaje, intervalo mensual.

Las actividades de mantenimiento para cada equipo perteneciente al grupo con criticidad C, se las puede observar en el apéndice No.14.

2.9.6 Tablas para la lectura del formato del plan de mantenimiento

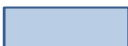




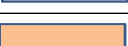

Como se obtuvieron diversas tareas y frecuencias de mantenimiento, para mejorar el entendimiento de la matriz general de mantenimiento, se realiza una leyenda donde muestra las diferentes abreviaturas a utilizar, son las que se muestran en la tabla No. 10 y una leyenda de frecuencia de actividades por color que se muestra en la tabla No. 11.

Tabla 10. Leyenda de abreviaturas

LEYENDA			
T.T.M	Tipo de tareas de Mantenimiento	D Diaria	M Mensual
E.F.S	Equipo Fuera de Servicio	S Semanal	BM Bimensual
T.E	Tiempo estimado de Ejecución (min)	Q Quincenal	TM Trimensual
Mec.	Mecanico	SM Semestral	A Anual
Elec.	Electrico	BA Bianual	TA Trianual

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Tabla 11. Leyenda de frecuencia de actividades por color


LEYENDA DE FRECUENCIA DE ACTIVIDADES POR COLOR	
Actividad Diaria o semanal	
Actividad Quincenal	
Actividad Mensual	
Actividad Bimensual	
Actividad Trimestral	
Actividad Semestral	
Actividad Anual	

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.9.7 Rutas de mantenimiento

Teniendo las actividades o lista de tareas que comprenden el plan de mantenimiento, se procede a agruparlas y generar rutas de mantenimiento, a fin de facilitar su ejecución. Estas rutas de mantenimiento se realizarán agrupando las tareas por especialidad: se tienen rutas eléctricas, mecánicas, de ajuste, limpieza y de lubricación que se deben realizar en cada área específica de la planta de tratamiento. De esta manera se dará facilidad a la realización de las órdenes de trabajo de mantenimiento preventivo. El formato diseñado para la realización de estas rutas de mantenimiento se puede observar en la siguiente figura No. 22.

Figura 22. Rutas de mantenimiento

		RUTA DE MANTENIMIENTO		Código ruta		
				Fecha de emisión / /		
		ESPECIALIDAD:		Hoja: 1/1		Esp: Preventivo
		MECÁNICA		Edición: 1		
AREA O SISTEMA:		TODAS				
OPERARIO:				Fecha: / /		
Hora Inicio:		Hora Final:		T. Estimado:		
Herramientas:		Equipos de Protección:				
Waipes, brocha de cerdas finas, caja de herramientas						
RIESGOS DE TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS:				Firma Operario:		
1.- Leer y conocer las fichas de seguridad. 2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.- Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Interrumpir el circuito de alimentación de energía eléctrica.						
Materiales:						
EQUIPO/TAG	DESCRIPCIÓN			RESULTADO	TOLERANCIA	
COMENTARIOS:						
COORDINADOR DE MANTENIMIENTO: _____						
FECHA: _____						


Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

2.9.8 Ordenes de trabajo

Teniendo ya elaborado el plan de mantenimiento es necesario planificar la ejecución del plan mediante órdenes de trabajo. Esta orden de trabajo se realizará de manera semanal, donde se integrarán las actividades que se encuentren programadas a realizarse en cada periodo dentro de la matriz de mantenimiento, y que será como un documento auxiliar a las rutas de mantenimiento anteriormente mencionadas.

En la siguiente figura No. 23, se puede observar el formato de Orden de Trabajo que se diseñó para el envío de las actividades programadas a ser realizadas dentro de una semana. La formulación de esta Orden de Trabajo se realiza según la programación establecida en la matriz general de plan de mantenimiento.

Figura 23. Formato de orden de trabajo

		ORDEN DE TRABAJO SEMANAL DE MANTENIMIENTO		Departamento:								
				Código No.:								
				Revisión:								
Cliente:				Elaborado por:								
Proyecto:				Recibido por:								
O.T #				Semana:	Fecha Inicio	Fecha Fin:						
Cuando revise los componentes, verifique que no haya ruidos, fugas o acumulación de calor. Si detecta algún fallo comuníquelo inmediatamente al mando directo												
NUMERO	LOCALIZACIÓN	EQUIPO: TAG	ACTIVIDAD	L	M	MI	J	V	S	D	EJECUTADO POR	OBSERVACIONES
COMENTARIOS:												
EJECUTANTE: _____ APROBADO POR: _____ FECHA EMISIÓN: _____ FECHA RECEPCIÓN: _____												

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

En este formato se puede visualizar algunos de los datos que se detallan a continuación:

Cuadro de datos técnicos de la OT: Estos datos serán llenados por la persona encargada de realizar estas órdenes de trabajo, entre estos datos se encuentran: el departamento, el código del formato la revisión, elaborado y recibido por

Número de la OT: Las órdenes de trabajo se irán enumerando de manera mensual, durante el mes se generan 4 órdenes de trabajo, estas órdenes de trabajo tendrán el mismo número de OT, y se identificarán según el **número de semana**.

Fecha de inicio y fecha fin: Indican el periodo de tiempo en el que se debe realizar la orden de trabajo generada.

CAPÍTULO 3

ANÁLISIS Y RESULTADOS INVOLUCRADOS EN EL DESARROLLO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO

En este capítulo final se presenta el análisis de los datos y resultados obtenidos en el desarrollo del proyecto, la información relevante entregada por los operarios y trabajadores de la planta que formaron parte del análisis de criticidad, se obtienen datos de los registros de fallas, el tiempo de paradas por fallas y el tiempo en reparar las fallas, datos que permitirán a determinar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos considerados como más críticos para la planta, analizando en conjunto los datos entre criticidad y disponibilidad y así poder identificar como se han estado comportando los equipos de la planta en un periodo de 12 meses, tiempo en que se lleva a cabo las operaciones de mantenimiento en la planta de tratamiento. Teniendo como resultado de este análisis, la documentación necesaria para poder gestionar y dar seguimiento al mantenimiento y el cumplimiento general de este proyecto, la generación de un plan de mantenimiento donde se describen las actividades con su respectiva programación de todos los equipos pertenecientes a los sistemas de tratamiento de la planta.

3.1 Resultados de la encuesta para el análisis de criticidad

Al tener las encuestas llenas con los datos proporcionados, por el personal entrevistado (Ver apéndice No. 8), se procede a realizar la ponderación de valores como se indica, en el ejemplo tomado de la encuesta completada por el gerente técnico para el equipo moto reductor MV-0001, es el equipo que acciona los brazos recolectores de lodos y grasas del tanque DAF (Ver figura No. 24).

Siguiendo la figura No. 24, se explica los valores adquiridos para el análisis de criticidad:

Figura 24. Extracto de la encuesta llena de criticidad

GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO TABLA DE VALORES DE CRITICIDAD		TRATAMIENTO PRELIMINAR				
		TANQUE DAF		TANQUE DE IGUALACIÓN		
PERSONA: <u>Carlos Toledo</u>	EQUIPO/ SISTEMA	SISTEMA DE BOMBEO	SISTEMA DE MICROAERACIÓN	SISTEMA DE RECOLECCIÓN DE Lodos y GRASAS	SISTEMA DE BOMBEO	SISTEMA DE INYECCIÓN DE AIRE
AREA/SECCIÓN: <u>63000-2 Senior</u>						
FECHA: <u>14/06/2012</u>						
GUÍA DE CRITICIDAD DE EQUIPOS PTAR						
FRECUENCIA						
FRECUENCIA DE FALLA (TODO TIPO DE FALLA)						
No mas de 1 por año	1	X			X	X
Entre 2 y 15 por año	2		X	X		
Entre 16 y 30 por año	3					
entre 31 y 50 por año	4					
Mas de 50 por año (Mas de una parada semanal)	5					
CONSECUENCIA						
IMPACTO SOBRE EL PROCESO DE TRATAMIENTO						
No interfiere con el proceso de tratamiento	0.05F					
25% de Impacto	0.3F	X	X	X		X
50% de Impacto	0.5F					
75% de Impacto	0.8F					
interfiere totalmente en el proceso de tratamiento	1F				X	
TIEMPO PROMEDIO DE REPARACIÓN DE AVERÍAS. MITR						
Menos de 4 horas	1	X			X	X
Entre 4 y 8 horas	2					
Entre 8 y 24 horas	3					
Entre 24 y 48 horas	4					
Mas de 48 horas	5		X	X		
COSTO DE REPARACIÓN (DOLARES)						
menor de \$ 1000.00	5	X	X		X	X
mayor de \$ 1500.00	10			X		
AFECTA A LA SEGURIDAD DE LAS PERSONAS E INSTALACIONES						
No origina heridas ni lesiones	0					
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes	5	X				X
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes entre 1 y 30 dias	10		X		X	
Puede ocasionar lesiones o heridas leves no incapacitantes superior 30 dias o incapacidad permanente	25			X		
AFECTA AL MEDIO AMBIENTE						
No origina ningún impacto ambiental	0	X			X	
Contaminación ambiental baja, el impacto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los limites de la planta	5		X			X
Contaminación ambiental moderada, no rebasa los limites de la planta	10			X		
Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas y procesos sancionatorios	25					

Respuestas del gerente técnico al equipo MV-0001, Autores: Calo Luis y Vasco Edison

En la primera pregunta sobre la frecuencia de las fallas en el equipo MV-0001 que pertenece al sistema de recolección de lodos y grasas, considera una frecuencia de falla en un rango entre 2 y 15 por año, y esto inmediatamente corresponde a un puntaje de 2, este dato será registrado en la tabla No. 12.

Siguiendo al cuadrante de las preguntas de la consecuencia, la respuesta al impacto que estas fallas tienen en el proceso de tratamiento, lo considera que tendrá un 25% de impacto en los procesos de tratamiento, y esto inmediatamente corresponde a un puntaje de 0.3, multiplicada por la frecuencia, esta frecuencia es la que él considero en la primera pregunta. Dando un dato numérico de 0.6, este dato será igualmente registrado en la tabla No. 12.

Inmediatamente en la tercera pregunta sobre el tiempo promedio de reparación de estas fallas, él lo estima que esta entre un rango promedio de 24 y 48, y esto inmediatamente corresponde a un puntaje de 4, este dato será igualmente registrado en la tabla No. 12 en la fila del equipo de MV-0001 que pertenece al sistema de recolección de lodos y grasas del tanque DAF.

Siguiendo esta secuencia para todas las preguntas siguientes, y así también para las encuestas realizadas a los otros participantes, se presenta en la tabla No. 12. Un resumen de estos datos obtenidos para el equipo MV-0001.

Teniendo ya un resumen de los datos numéricos obtenidos para un equipo dentro de la encuesta, se procede a realizar un promedio de la valorización de los criterios, estos valores promedio se puede distinguir con las letras de color rojo.

Tabla 12. Valores obtenidos de la encuesta de criticidad para el equipo MV-0001

RESULTADOS ANALISIS DE CRITICIDAD		MOTOR REDUCTOR: MV-0001				
PERSONA ENTREVISTADA	FRECUENCIA DE FALLAS	IMPACTO EN LA PRODUCCIÓN	TIEMPOS PROMEDIO EN REPARAR	COSTOS DE REPARACIÓN	IMPACTO SALUD Y SEGURIDAD OCUPACIONAL	IMPACTO AMBIENTAL
GERENTE TÉCNICO	2	0,6	5	10	10	10
ASISTENTE TÉCNICO	2	1	4	5	0	5
OPERARIO DE AREA	5	2,5	1	10	10	10
OPERARIO DE AREA	1	0,3	1	5	0	0
RESULTADOS PROMEDIO	2,5	3,3	2,75	7,5	5	6,25

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Teniendo ya los resultados promedio de la encuesta para este equipo, lo siguiente es realizar el cálculo del valor de criticidad usando la *Ec. (1.1)*, descrita en el marco teórico. En tabla No. 13 se presenta el desarrollo de la ecuación para el cálculo de criticidad para el equipo MV-0001.

Tabla 13. Cálculo del valor de criticidad

MOTOR REDUCTOR: MV-00	
Criticidad	$(2,5)*((7,5+5+6,25)+(3,3*2,75))$
Criticidad	69.56

Adaptado y Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Este procedimiento se realiza en todos los equipos dentro de la encuesta realizada de criticidad, estos valores de criticidad se muestran en el apéndice No. 9, donde los valores se encuentran aproximados de manera automática con el uso del software Excel.

Teniendo el cálculo de la criticidad de todos los equipos, lo siguiente es ordenar los equipos según su nivel de criticidad como se muestra en la tabla No. 14.

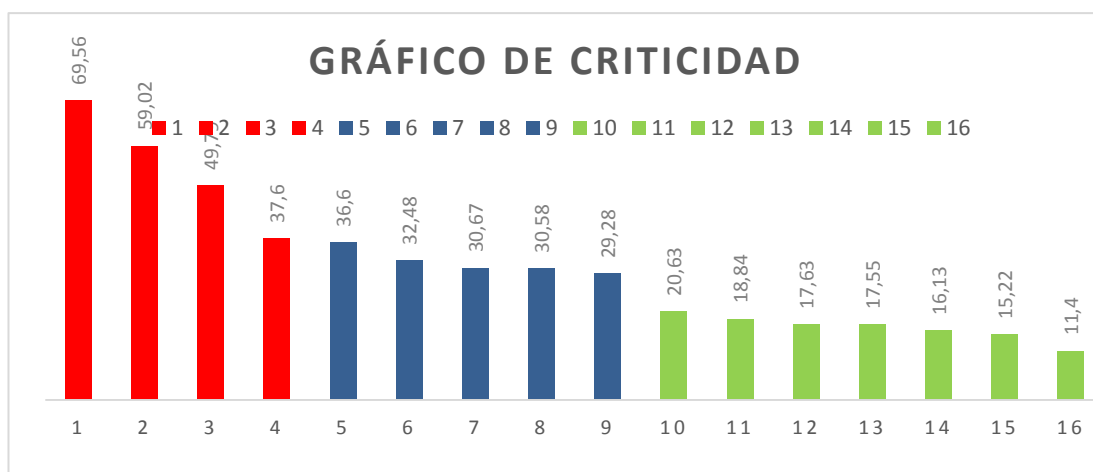
Tabla 14. Resultados del análisis de criticidad

LISTADO DE EQUIPOS SEGÚN SU CRITICIDAD EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO "MARISCAL SUCRE"			
ÍTEM	EQUIPO/SISTEMA	LOCALIZACIÓN	CRITICIDAD
1	MOTOR REDUCTOR: MV-0001	TANQUE DAF	69,56
2	BOMBA DE LODOS: PCP-0003	TRATAMIENTO DE LODOS	59,02
3	MOTO REDUCTOR:	RBCs	49,79
4	COMPRESOR DE AIRE: CCP-0001	TRATAMIENTO DE LODOS	37,6
5	BOMBA DE LODOS: PCP-0001/2	TRATAMIENTO DE LODOS	36,6
6	MOTO AIREADOR: MA-0001	TANQUE DAF	32,48
7	BOMBAS SUMERGIBLES: SP-0003/ 4	TANQUE DAF	30,67
8	BOMBA DOSIFICADORA DE CLORO: DP-0001	SISTEMA DE DESINFECCIÓN	30,58
9	BOMBAS CENTRÍFUGAS: PCF-0001/2	SISTEMA FILTROS DE ARENA	29,28
10	EQUIPO DE PREPARACIÓN DE POLÍMERO: EQ-0002	TRATAMIENTO DE LODOS	20,63
11	BOMBAS CENTRÍFUGAS: PCF-0003/4	SISTEMA FILTROS DE ARENA	18,84
12	SOPLADORES DE AIRE: AB-004/5	TRATAMIENTO DE LODOS	17,63
13	DESHIDRATADOR DE LODOS: EQ-0001	TRATAMIENTO DE LODOS	17,55
14	SOPLADORES DE AIRE: AB-105-106-107	TANQUE DE IGUALACIÓN	16,13
15	BOMBA DOSIFICADORA DE POLÍMERO: PFP-001	TRATAMIENTO DE LODOS	15,22
16	BOMBAS SUMERGIBLES: SP-101/102/103	TANQUE DE IGUALACIÓN	11,4

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

En la figura No 25 se muestra un diagrama de barras que corresponden a un orden de criticidad según los datos obtenidos, y están divididas en 3 colores indicando al bloque al que pertenecen, teniendo una mejor visualización de los resultados.

Figura 25. Diagrama de barras del resultado de Análisis de Criticidad



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Tomando en consideración que los valores de criticidad obtenidos en la encuesta, no siempre se le pueden dar como definitiva, por lo que se hace necesario combinar esta información con las recomendaciones del personal directamente involucrado en el mantenimiento y operación de los equipos y así obtener una lista más confiable y certera, se determinó los primeros 4 equipos con la criticidad más alta y que serán analizados por la metodología de RCM con el fin de enfatizar en los equipos de gran importancia en los procesos por las fallas imprevistas que provocan las paradas de los mismos, 5 equipos con criticidad media y 7 equipos con criticidad baja. Pudiendo distinguirlos por código de colores, donde el color rojo es considerado los de criticidad alta, azul como la de criticidad media y verde como los equipos de criticidad baja, como se observa en la anterior figura No. 25.

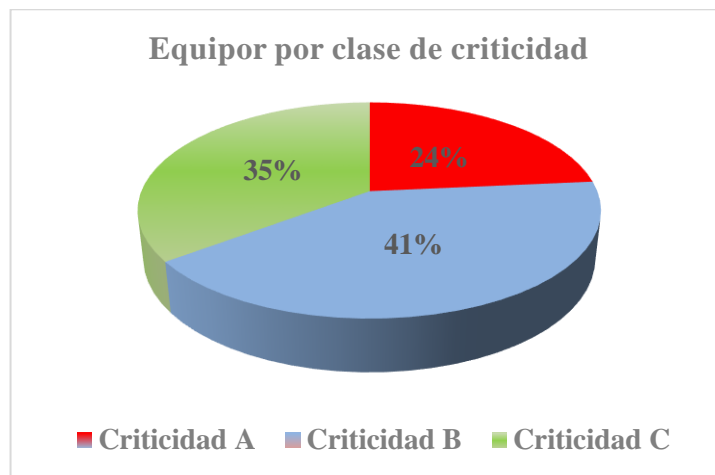
A continuación, en la tabla No. 15, se presenta la agrupación de los equipos según su rango de criticidad.

Tabla 15. Equipos de acuerdo con el nivel de criticidad

Clasificación	Número de Equipos
Criticidad A	4
Criticidad B	5
Criticidad C	7
Total, Equipos	16

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Figura 26. Porcentaje de los equipos según su nivel de criticidad



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

En la figura No. 26 se observa que el mayor porcentaje de los equipos están dentro de un grupo de criticidad B, con un 41%, en segundo lugar, el grupo de criticidad A con un 24 % de equipos, y con un 35 % de equipos con criticidad C.

3.2 Tiempo promedio entre fallas y Tiempo promedio para reparar

En la tabla No. 16 se presenta los resultados de Tiempo promedio entre fallos y Tiempo promedio para reparar en este caso del Motor reductor MV-0001,

Este procedimiento se realiza en todos los equipos dentro de la Planta de tratamiento de aguas residuales donde se obtienen los valores de TPEF y TPPR. Se puede visualizar en el apendice No. 11.

Tabla 16. Resultados de TPEF y TPPR.

EQUIPO	LOCALIZACIÓN	CRITICIDAD
MOTORREDUCTOR MV-0001	TANQUE DAF	69,56

DATOS DE OPERACIÓN	
Opera Horas/ día	22
Opera Horas /Año	8030
Fallas en operación	5

TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLOS	
Total horas operación	8030
Número de fallas en operación	5
Tiempo Promedio entre fallos (TPEF)	1606

TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR	
Tiempo para reparar	288
Número de fallas en operación	5

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.2.1 Análisis de TPEF Y TPPR al grupo con criticidad “A”

Este análisis se realizará a los equipos que se encuentran en el grupo de criticidad A, como se observa en la tabla No. 17.

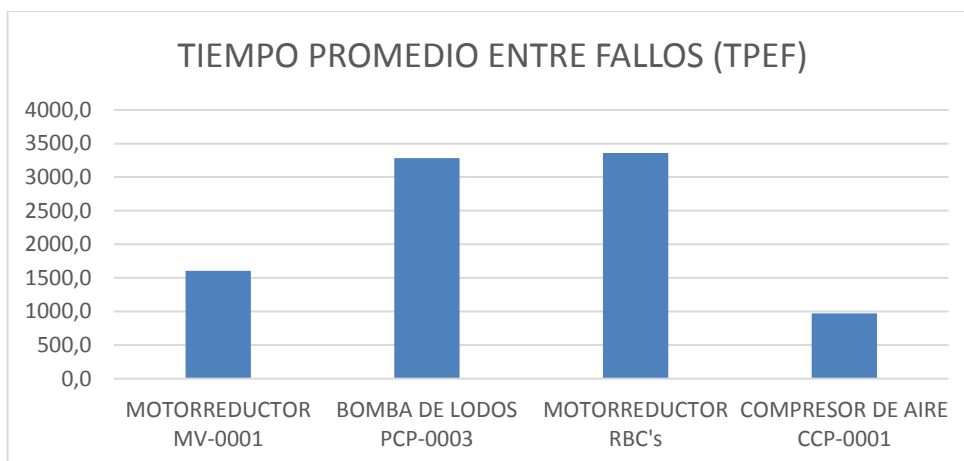
Tabla 17. TPEF y TPPR grupo con criticidad A

EQUIPO	TIEMPO PROMEDIO ENTRE FALLOS (TPEF)	TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR (TPPR)
MOTORREDUCTOR MV-0001	1606,0	57,6
BOMBA DE LODOS PCP-0003	3285,0	48,0
MOTORREDUCTOR RBC's	3358,0	432,0
COMPRESOR DE AIRE CCP-0001	973,3	21,7

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

- **Tiempo promedio entre fallas**

Figura 27. Visualización TPEF del grupo con criticidad A



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

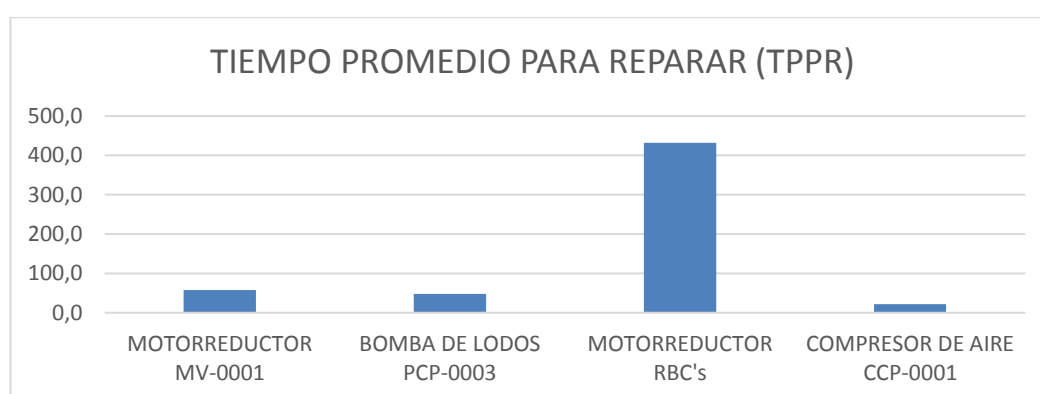
Los valores obtenidos en el TPEF del grupo con criticidad A permitirán definir la fiabilidad de los equipos, teniendo información importante al momento de tomar decisiones en el desarrollo de los planes de mantenimiento. En este caso se debe resaltar que los sistemas o equipos con TPEF cortos, reflejan valores de Fiabilidad bajos y un alto número de fallos.

En el caso del compresor de aire CCP-0001 muestra un TPEF corto por lo que valores de Fiabilidad bajos y un alto número de fallos, precedido del motor reductor MV-0001, seguido de la bomba de lodos PCP-0003, estando en último lugar el motor reductor de los RBC's, que es el equipo del grupo con mayor fiabilidad y menor número de fallos.

Tiempo promedio para reparar

En el caso del TPPR los índices largos, reflejan valores de Mantenibilidad bajos sistemas en los que se necesita gran cantidad de tiempo para poder recuperar sus funciones (Ver figura No. 28).

Figura 28. Visualización TPPR del grupo con criticidad A



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

En el caso del Motor reductor de los RBC's refleja valores de mantenibilidad bajos esto quiere decir que cuando ocurre una falla, transcurre un largo periodo de tiempo para que vuelva hacer operativo. Existen diferentes causas que provocan la demora en la reparación, una de ellas puede ser porque el trabajo lo realiza terceras personas, porque los repuestos son difíciles de conseguir y tenga que realizar importación de los mismos, o porque el equipo se encuentra en un lugar de difícil acceso o porque está rodeada de sustancias toxicas que no permitan realizar el mantenimiento con facilidad.

Precedido por el motor reductor de los DAF, bombas de lodos, indicando finalmente que el compresor de aire es el equipo que presta mayor mantenibilidad ya sea por su posición o porque su lugar de trabajo es apto para realizar el mantenimiento.

3.3 Disponibilidad de los equipos

Mediante los resultados de disponibilidad se puede ratificar los resultados obtenidos en el análisis de criticidad según el orden de disponibilidad de los equipos. Claro está que los resultados no van hacer los mismos ya que son dos análisis diferentes, pero ayudarán a tener una idea más clara de los equipos que presentan mayor número de fallas, con los equipos más críticos (Ver tabla No. 18).

Tabla 18. Disponibilidad de los equipos de la planta

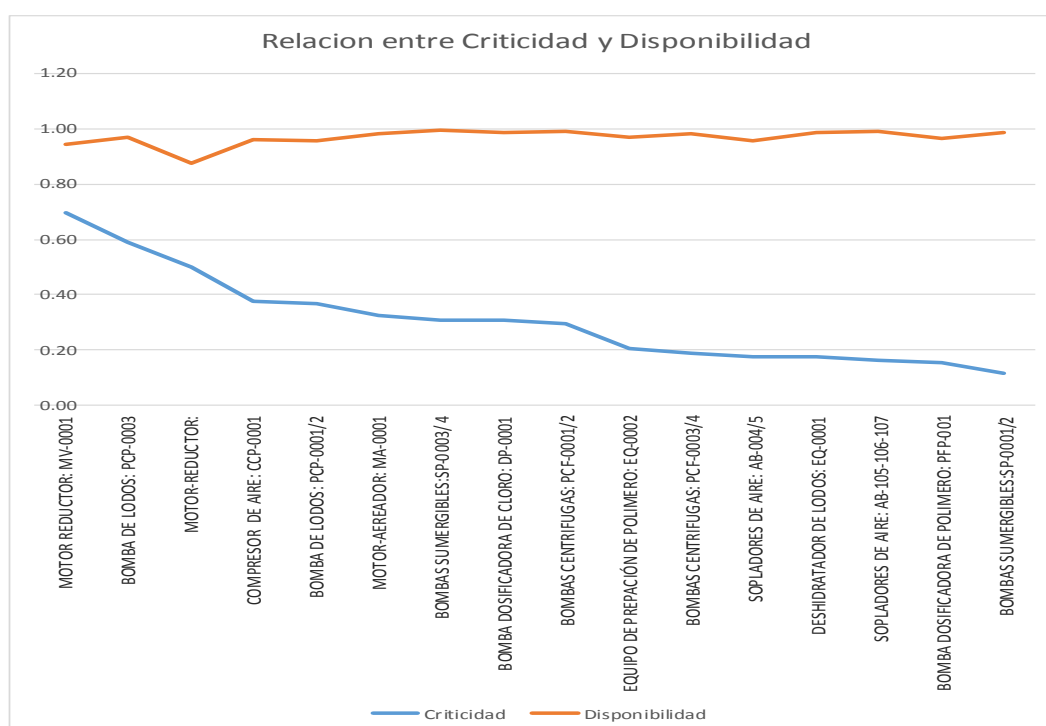
Disponibilidad de los equipos de la planta				
Equipo	Tiempo en funcionamiento	Tiempo M.C.	Tiempo M.P.	Disponibilidad
MOTORREDUCTOR MV-0001	6820	288	132	0.942
BOMBA DE LODOS PCP-0003	6570	96	114	0.969
MOTORREDUCTOR RBC's	33580	4320	438	0.876
COMPRESOR DE AIRE CCP-0001	2920	65	60	0.959
BOMBA DE LODOS PCP-0001/2	5840	114	144	0.958
MOTORAERADOR MA-0001	8030	72	66	0.983
BOMAS DOSIFICADORA DE CLORO DP-0001	8395	48	12	0.993
BOMBAS SUMERGIBLES SP-0003/4	16790	144	74	0.987
BOMBAS CENTRIGUGAS PCF-0001/2	14600	108	54	0.989
EQUIPO DE PREPARACION DE POLIMERO	7300	161	84	0.968
BOMBAS CENTRIFUGAS PCF-0003/4	5840	96	0	0.984
SOPLADORES DE AIRE AB-004/5	5840	49	204	0.958
DESHIDRATADOR DE LODOS EQ-0001	6570	48	40	0.987
SOPLADORES DE AIRE AB - 105-106-107	8395	84	0	0.990
BOMBA DOSIFICADORA DE POLIMERO PFP-001	6570	161	84	0.964
BOMBAS SUMERGIBLES SP-0001/2	5840	84	0	0.986

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.4 Relación entre Criticidad y Disponibilidad

En el análisis de los resultados entre criticidad y disponibilidad se puede observar que los equipos más críticos son los menos disponibles en el caso de moto reductor MV-001 es uno de los equipos más críticos y menos disponible, los datos graficados son el resultado de la investigación que se realizó entre los datos obtenidos por el análisis de criticidad y los datos proporcionados por las hojas de registro de fallas, el comportamiento de las curvas muestran la relación entre criticidad disponibilidad de cada uno de los equipos como se muestra en la figura No. 29, dándose a notar la necesidad de la implementación del plan de mantenimiento preventivo en la planta para llegar al objetivo que todos los equipos críticos lleguen hacer los que tengan una mayor disponibilidad. Para que los procesos de la planta sean eficientes y se cumpla con los parámetros de calidad del agua tratada par ser liberada al medio ambiente.

Figura 29. Criticidad y Disponibilidad



Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.5 Levantamiento y análisis de modos de falla y efecto de los equipos de criticidad A.

Habiendo expuesto en el capítulo anterior los criterios para llenar la hoja de información de RCM, y con la ayuda de los documentos generados: el listado de los equipos, los grupos de criticidad, el análisis de la hoja de registros de fallas, se procede a realizar el análisis de los modos de falla y efecto a los equipos que están dentro del grupo de criticidad A, en la tabla No. 19 se observa la tabla de información para el equipo motor reductor MV-0001, este análisis se realizó para los equipos que se encuentran dentro del grupo de criticidad A y se puede visualizar en el apéndice No.12

Tabla 19. Hoja de información AMEF del equipo MV-0001

HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		SISTEMA: Flotación por Aire Difuso (DAF)				
		SUB-SISTEMA / EQUIPO: Motor Reductor MV-0001				
	FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA	EFFECTOS DE FALLA
1	Transmitir potencia de 0,5hp a los brazos recolectores de grasas y lodos	A	Reductor no acciona	1	Engranajes trancados por falta de aceite	Brazos recolectores de grasas y lodos, fuera de servicio
				2	Motor eléctrico fuera de servicio, por sobrecarga o falla eléctrica.	
				3	Daño de las chumaceras de soporte, por falta de lubricación	
2	Reducir la velocidad de revolución para el accionamiento de los brazos recolectores de grasa y lodos.	A	Reductor acciona pero con deficiencia	1	Mal funcionamiento de chumaceras por falta de lubricación	Vibraciones y ruido interno en el reductor
				2	Mal funcionamiento de reductor por bajo nivel de aceite	
				3	Engranajes desgastados, por falta de cambio de aceite	

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.5.1 Hoja de decisión RCM de los equipos de criticidad A

En la tabla No. 20 se detallan las hojas de decisión generadas para los equipos que se encuentran dentro del grupo de criticidad A. En la casilla de actividad se describirá de manera más detallada, en el documento final, el plan de mantenimiento que se realizará a partir de todos los datos estudiados y de la documentación generada.

Esta hoja de decisión se debe realizar por cada hoja de información, es decir se tendrán un total de 4 hojas de decisión, y se muestran en el apéndice No. 13.

Tabla 20. Hoja de decisión RCM II del equipo MV-0001

HOJA DE DECISIÓN RCM II							SISTEMA: Flotación por Aire Difuso (DAF)									
							SUB-SISTEMA / EQUIPO: Motor Reductor MV-0001									
REFERENCIA DE INFORMACIÓ			EVALUACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS				H1	H2	H3	ACCIÓN A FALTA DE			TAREA PROPUESTA	INTERVAL O INICIAL	A REALIZARSE POR	
							S1	S2	S3	H4	H5	S4				
F	FF	FM	H	S	E	O	O1	O2	O3							
1	A	1	S	N	N	S	S						Verificación visual del nivel de aceite	Mensual	Mecánico	
1	A	2	S	N	N	S	S						Verificar parámetros eléctricos	Semanal	Eléctrico	
1	A	3	S	N	N	S	S						Lubricación de chumaceras	Quincenal	Mecánico	
2	A	1	S	N	N	S	S						Lubricación de chumaceras	Quincenal	Mecánico	
2	A	2	S	N	N	S	S						Verificación visual del nivel de aceite	Mensual	Mecánico	
2	A	3	S	N	N	S	S						Cambio de aceite	Semestral	Mecánico	

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.6 Formulación de los planes de mantenimiento y desarrollo de la matriz de mantenimiento.

Se realizó la matriz del plan de mantenimiento preventivo general en un hoja de cálculo en el programa Excel, donde se encuentran ordenadas los equipos por sección, cada equipo con las actividades de mantenimiento, así también la frecuencia, especialidad y la fecha tentativa de ejecución, etc. La matriz de plan de mantenimiento se puede visualizar en el apéndice No. 14.

Con el fin de mostrar las diferentes opciones y contenidos desarrollados en la matriz de plan de mantenimiento se exponen a continuación ejemplos del uso, En este caso de la opción filtrar datos según la frecuencia, tipo de mantenimiento, especialidad, equipo, etc.

3.6.1 Filtro de datos según actividades semanales

En la tabla No.21 se muestran las actividades semanales de los equipos de la planta, utilizando el filtro de frecuencia, elegida la opción semanal.

Tabla 21. Extracto de las actividades semanales

UBICACIÓN	TAG:	EQUIPO	T.T.M	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	E.F.S	DESCRIPCIÓN	A REALIZARSE POR	T.E	RECURSOS
TRATAMIENTO PRELIMINAR	MA-0001	AIREADOR	6	AJUSTE SEGÚN CONDICIÓN DE ESTRUCTURA DE ANCLAJE	S	SI	Asegúrese de que todos los pernos y tuercas estén apretados y seguros. Caso contrario apriete todos los sujetadores aflojados. -Verificar que el equipo funcione sin vibraciones excesivas	Ajuste	30	Caja de herrameintas
			5	LIMPIEZA SEGÚN CONDICIÓN DE LA HÉLICE DE AIREACIÓN	S	SI	Verificar la existencia excesiva de polvo y suciedad, caso contrario limpiar de toda clase de solidos, revisar el buen estado del mismo.	Limpieza	45	Caja de herrameintas
	MV-0001	MOTORREDUCTOR	6	AJUSTE CONDICIONAL DE ESTRUCTURA Y ANCLAJE	S	SI	Asegúrese de que todos los pernos y tuercas estén apretados y seguros. Caso contrario apriete todos los sujetadores aflojados.	Ajuste	30	Caja de herrameintas
			5	LIMPIEZA SISTEMÁTICA DE TODOS LOS COMPONENTES DEL EQUIPO	S	SI	suciedad del los equipos, evitar el acumulamiento en las aletas de refrigeración del motor eléctrico.	Limpieza	45	Waipe.
	107	AIRE	6	AJUSTE CONDICIONAL DE ESTRUCTURA Y ANCLAJE	S	SI	Asegúrese de que todos los pernos y tuercas estén apretados y seguros. Caso contrario apriete todos los sujetadores aflojados.	Ajuste	30	Caja de herrameintas

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.6.2 Filtro de actividades quincenales

Tabla 22. Filtros actividades quincenales

UBICACIÓN	TAG:	EQUIPO	T.T.M	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	E.F.S	DESCRIPCIÓN	A REALIZARSE POR	T.E	RECURSOS
TRATAMIENTO PRELIMINAR	MV-0001	MOTORREDUCTOR	2	LUBRICACIÓN DE LA CHUMACERA DEL EJE GUIA	Q	NO	Aplique grasa en el engrasador del cojinete hasta que se vea que el exceso de grasa sale cerca del eje. Engrase los cojinetes (5 -10 disparos) mientras el eje este girando	Lubricación	30	NGLI 2, resistenciaa contaminación de agua, revoluciones bajas, cargas bajas.
TRATAMIENTO SECUNDA	RBC-1 / 2 / 3 / 4	BIODISCOS	2	LUBRICACIÓN DE LAS CHUMACERAS	Q	NO	Aplique grasa en el engrasador del cojinete hasta que se vea que el exceso de grasa sale cerca del eje. Engrase los cojinetes (5 -10 disparos) mientras RBC está girando.	Lubricación	60	NGLI 2; Cant: 8 gramos
TRATAMIENTO DE LOS EQUIPOS	EQ-0001		2	LUBRICACIÓN DE LA CADENA METALICA MOTRIZ	Q	NO	Lubrique la cadena de transmisión metálica y el conjunto del piñón, limpiar impurezas de la cadena, Inspeccione el desgaste y reemplácelo si es necesario. Inspeccione los dientes de los piñones. Si los dientes son redondeados, deben ser reemplazados.	Lubricación	30	Lubricante en Spray WD-40

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.6.3 Filtro de datos según actividades mensuales

Tabla 23. Filtro de datos de actividades mensuales

UBICACIÓN	TAG:	EQUIPO	T.T.M	ACTIVIDADES	FRECUENCIA	E.F.S	DESCRIPCIÓN	A REALIZARSE POR	T.E	RECURSOS
TRATAMIENTO PRELIMINAR	SP-0003/0004	BOMBAS SUMERGIBLES	7	LIMPIEZA SISTEMÁTICA DEL IMPULSOR DE LA BOMBA	M	SI	Verificar el estado de los componentes de la bomba. Reportar Desmontar la bomba verificar desgaste del impulsor y que no este obstruido,	Limpieza	60	Herramientas de limpieza y recolección de sólidos.
	N/A	MOTOR ORBITALES	4	VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS	M	NO	Revisar que la corriente consumida por el motor no sea mayor a la indicada en la placa informativa de los motores. Revisión del	Eléctrico	60	Voltamperímetro
TRATAMIENTO SECUNDARIO	RBC-1 / 2 / 3 / 4	BODIS COS	6	AJUSTE CONDICIONAL DE ESTRUCTURA Y ANCLAJE	M	SI	Compruebe todos los pernos y tuercas en cada componente (motores, chumaceras, etc) de los RBC. estén apretados y seguros. Apriete todos los sujetadores aflojados.	Ajuste	60	Caja de herramientas
	N/A	MOTOR ORBITALES	4	VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS ELÉCTRICOS	M	NO	Revisar que la corriente consumida por el motor no sea mayor a la indicada en la placa informativa de los motores. Revisión del	Eléctrico	60	Voltamperímetro

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

De esta manera se puede realizar el filtro de las demás frecuencias como son bimensuales, trimestrales, semestrales y anual.

3.6.4 Visualización de las frecuencias de actividades por color

El cronograma de actividades esta realizado para un año, se lo puede visualizar en la matriz general de mantenimiento Apéndice 14. Con el fin de mostrar algunos ejemplos del manejo y contenido de esta matriz, se muestran algunos ejemplos a continuación.

Las actividades semanales se las marca con su respectivo color durante un año en este caso las tareas de mantenimiento semanal del Aireador MA-0001.

Figura 30. Frecuencia de actividades por color semanales

[illegible]

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Las actividades quincenales se las marca con su respectivo color durante un año en este caso las tareas de mantenimiento quincenal del Moto reductor MV-0001

Figura 31. Frecuencia de actividades por color quincenales

[illegible]

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Las actividades mensuales se las marca con el color seleccionado para la misma, durante un año en este caso las tareas de mantenimiento mensual de las bombas sumergibles SP-0003/4.

Figura 32. Frecuencia de actividades por color mensuales.

TAG:	EQUIPO	MESES DEL AÑO																																																			
		ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE							
		SEMANAS DE CADA MES																																																			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5				
SP-0003/0004	BOMBAS SUMERGIBLE S	X				X							X						X						X						X							X						X					X				

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

Así sucesivamente se puede seguir filtrando las actividades a realizar según la frecuencia de mantenimiento de cada equipo.

3.6.5 Cronograma de actividades de mantenimiento

El cronograma de actividades es un documento en Excel en el cual se puede observar la tarea de mantenimiento, la frecuencia con la que se debe ejecutar y la semana de cada mes en la que se la debe realizar, para así lograr una planificación ordenada del mantenimiento. El cronograma general desarrollado para las diferentes actividades se visualiza en el apéndice No. 15. A continuación se muestra un extracto en la tabla No.

24

Tabla 24. Cronograma de actividades

		ENERO				FEBRERO				MARZO				ABRIL				MAYO				JUNIO				JULIO			
		SEMANAS DE CADA MES																											
EQUIPO/SISTEM A		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
MOTOR REDUCTOR: MV- 0001		2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 1TF- 6S- 5S	2S M- 6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	1TF- 6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S	2Q- 6S- 5S	6S- 5S

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

La tabla se deberá leer conjuntamente con la tabla No. 10 (Tipos de tareas según el modelo de mantenimiento) y la tabla No. 11 (Leyenda de abreviaturas)

En el caso del Moto reductor MV-0001, en la primera semana de enero se tiene 2Q: tareas de lubricación quincenal, 6S: Ajustes condicionales semanal y 5S: Limpieza según condición semanal.

En la segunda semana se debe realizar, 6S: Ajustes condicionales semanal y 5S: Limpieza según condición semanal.

La interpretación de la tabla de cronograma de actividades será igual para los demás equipos esta información ayuda a tener una planificación de actividades más clara y a la elaboración de órdenes de trabajo.

3.6.6 Rutas de inspección

A continuación, se expone un ejemplo de cómo serán llenadas las hojas de rutas de inspección las que deben estar organizadas por especialización. Algunos de los datos que disponen estas hojas de ruta se exponen a continuación:

Especialidad: Indica la especialidad que representa la ruta de trabajo, que en esta se puede encontrar con rutas de especialidad mecánica, eléctrica, limpieza, ajuste y lubricación.

Área o sistema: Área o sistema de la planta a la que está dirigida dicha ruta.

Operario: Nombre del operario designado o a cargo.

Fecha: La fecha de recepción por parte del operario.

Herramientas: Las herramientas que serán necesarias para llevar a cabo la ruta.

Equipos de protección: Equipos de protección necesarios para llevar a cabo la ruta.

Materiales: Materiales necesarios para las distintas actividades de la ruta.

Equipo/TAG: Código de equipo perteneciente a la planta de tratamiento.


Descripción: Descripción de manera puntual de la actividad de mantenimiento.

Resultado: Los resultados medibles que obtendrá el operador o especialista.

Tolerancia: Valor admisibles de una actividad medible.

En la figura No 33, se puede observar la ruta de mantenimiento para las actividades de especialidad mecánica. De la misma manera se deberá realizar para las diferentes especialidades que se pueden encontrar en la matriz de mantenimiento generada. Estas hojas de ruta serán ejecutadas con la Orden de Trabajo, con el fin de registrar el cumplimiento de las tareas programadas en fechas específicas.

Figura 33. Rutas de inspección



		RUTA DE MANTENIMIENTO		Código ruta	
		ESPECIALIDAD:		Fecha de emisión	___/___/___
		MECÁNICA		Hoja: 1/1	Esp: Preventivo
				Edición: 1	
AREA O SISTEMA:		TODAS			
OPERARIO:				Fecha: ___/___/___	
Hora Inicio:		Hora Final:		T. Estimado:	
Herramientas:		Equipos de Protección:			
Waipes, brocha de cerdas finas, caja de herramientas					
RIESGOS DE TRABAJO Y MEDIDAS PREVENTIVAS:					
1.- Leer y conocer las fichas de seguridad. 2.- Temperaturas altas en algunas zonas. Precaución para no tocar partes calientes. 3.- Riesgos eléctricos. No tocar cables, ni manipular equipos bajo tensión. Interrumpir el circuito de alimentación de energía eléctrica.					
Firma Operario:					
Materiales:					
EQUIPO/TAG	DESCRIPCIÓN	RESULTADO	TOLERANCIA		
MV-0001	VERIFICACION DE VIBRACIONES	N/A	N/A		
AB-105 / 106 / 107	INSPECCIÓN VISUAL DE CONDICION DEL FILTRO DE ASPIRACIÓN		Buen estado		
	INSPECCIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA VÁLVULA DE RETENCIÓN		Sin suciedad acumulada		
	INSPECCIÓN VISUAL DE CONDICION DE LAS CORREAS TRAPEZOIDALES		Buen estado		
	INSPECCION VISUAL DEL ALINEAMIENTO DE LA POLEA		Centrado con las ruedas		
	VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LOS COJINETES DE LOS MOTORES		Menor a 70 grados		
RBC-1 / 2 / 3 / 4	VERIFICACIONES DE VIBRACIONES	N/A	N/A		
	INSPECCIÓN DE JUNTAS Y EMPAQUETADURAS DEL REDUCTOR		Sin fugas de lubricante		
	MEDICIÓN DE TEMPERATURA DE MOTOR TRANSMISIÓN		Menor a 110 grados		
	VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LOS COJINETES DE LOS MOTORES		Menor a 70 grados		
PCP-0001/02/03	DE FUGAS DE FLUIDO EN EL ESTATOR Y JUNTA DEL EJE		Sin fugas de fluido		
AB-004/005	CAMBIO DEL FILTRO DE AIRE				
CCP-0001	DRENAJE DE AIRE CONDENSADO EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO		Sin aire condensado		
	VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DE LA VALVULA DE SEGURIDAD				
	VERIFICACIÓN DE FUNCIONAMIENTO DEL PRESOSTATO				
	CAMBIO SEGÚN CONDICION DE DEL FILTRO DE AIRE				
EQ-0001	INSPECCIÓN DE VALVULAS Y FUNCIONAMIENTO DEL EQUIPO		Sin obstrucciones		
	DRENAJE DE AIRE CONDENSADO DE LOS COMPONENTES NEUMÁTICOS		Sin aire condensado		
PCF-0001/2/3/4	VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LOS COJINETES DE LOS MOTORES		Menor a 70 grados		
	INSPECCIÓN VISUAL DE FUGAS DE FLUIDO EN LAS EMPAQUETADURAS		Sin fugas excesivas		
DP-0001	VERIFICACIÓN DE LA TEMPERATURA EN LOS COJINETES DE LOS MOTORES		Menor a 70 grados		
	INSPECCIÓN VISUAL DEL BUEN ESTADO DEL DIAGRAFMA		Sin obstrucciones		
COMENTARIOS:					
COORDINADOR DE MANTENIMIENTO: _____					
FECHA: _____					

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.6.7 Planteamiento de las órdenes de trabajo

En la figura No 34, se presenta un ejemplo de una orden de trabajo generada para el mes de agosto de 2017. Empezando del lado izquierdo de esta Orden de Trabajo se encuentran la localización o área, el equipo dentro de esa área, las actividades pertenecientes a este equipo, estas actividades pueden ser diarias, semanales, mensuales, trimestrales, etc. Las programaciones de las actividades dependen de la frecuencia que fueron recomendadas y escritas en la matriz general del plan de mantenimiento.

Figura 34. Orden de trabajo

		ORDEN DE TRABAJO SEMANAL DE MANTENIMIENTO		Departamento: Mantenimiento	
				Código No.: ISA-MAN-PTAR-AER	
				Revisión: A	
REFERENCIA:		PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES NUEVO AEROPUERTO DE QUITO		Elaborado por: LUIS CA LO	
Proyecto:		OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		Recibido por: Ing. CARLA MORENO	
O.T #	110817	Abierto		Semana: 1	Fecha Inicio: 1/8/2017
				Fecha Fin: 6/8/2017	
Cuando revise los componentes, verifique que no haya ruidos, fugas o acumulación de calor. Si detecta algún fallo comuníquelo inmediatamente al mando directo					
NUMERO	LOCALIZACIÓN	EQUIPO: TAG	ACTIVIDAD	L	M
				MI	J
				V	S
				D	REALIZÓ
1	T. PRELIMINAR	AIREADOR/MA-0001	AJUSTE SEMANAL SEGÚN CONDICIÓN DE ESTRUCTURA DE ANCLAJE	<input type="radio"/>	
2			LIMPIEZA SEMANAL SEGÚN CONDICIÓN DE LA HÉLICE DE AIREACIÓN	<input type="radio"/>	
3			LUBRICACIÓN SEMESTRAL DE LA UNIÓN UNIVERSAL	<input type="radio"/>	
4		MV-0001/ MOTORREDUCTOR	AJUSTE SEMANAL CONDICIONAL DE ESTRUCTURA Y ANCLAJE	<input type="radio"/>	
5			LIMPIEZA SEMANAL SISTEMÁTICA DE TODOS LOS COMPONENTES DEL EQUIPO	<input type="radio"/>	
6			LUBRICACIÓN QUINCENAL DE LA CHUMACERA DEL EJE GUIA	<input type="radio"/>	
7		SOPLADORES DE AIRE	LIMPIEZA SEMANAL CONDICIONAL DEL FILTRO DE ASPIRACIÓN	<input type="radio"/>	
8			INSPECCIÓN SEMANAL VISUAL DEL NIVEL DE ACEITE	<input type="radio"/>	
9			VERIFICACIÓN SEMANAL DE LA TEMPERATURA EN LOS COJINETES DE LOS MOTORES	<input type="radio"/>	
10	T. SECUNDARIO	RBC-1 / 2 / 3 / 4	INSPECCIÓN VISUAL BIMESTRAL DEL NIVEL DE ACEITE EN LA CAJA DE ENGRANES	<input type="radio"/>	
11			LUBRICACIÓN SEMANAL DE LAS CHUMACERAS	<input type="radio"/>	
12			INSPECCIÓN VISUAL BIMENSUAL DEL NIVEL DE ACEITE EN LA CAJA DE ENGRANES	<input type="radio"/>	
COMENTARIOS:					
EJECUTANTE: _____ APROBADO POR: _____ FECHA EMISIÓN: _____ FECHA RECEPCIÓN: _____					

Elaborado por: Calo Luis y Vasco Edison

3.6.8 Capacitación al personal de mantenimiento

Al tener un plan de mantenimiento actualizado y con la documentación recomendada para su uso y manejo se hace necesario la ejecución de la capacitación al personal encargado del manejo y ejecución de la documentación anteriormente expuesta. Los siguientes pasos serían los recomendados para poder capacitar al personal.

Primero paso: Introducción

- Definiciones generales de los términos técnicos involucrados en el desarrollo de este estudio, explicar los conceptos fundamentales que serían el mantenimiento correctivo, preventivo, predictivo y la metodología RCM.
- Descripción de los procesos que componen la planta de tratamiento de aguas residuales.
- Exponer todos los equipos que se tienen en la planta, los cuales cuentan con su código y respectivas fichas técnicas e historial de fallas.

Segundo paso: clasificación y jerarquización

- Exponer acerca de la encuesta de donde se obtuvo información importante para el desarrollo del análisis de criticidad.
- Explicar acerca de los factores que están involucrados en el análisis de criticidad y en el cálculo de la misma.
- Exponer cuales son los equipos de mayor importancia en los procesos de la planta equipos que resultaron del análisis de criticidad.
- Explicar en qué consiste el análisis de modos y efecto de fallas (AMEF), análisis que es aplicado al equipo con mayor criticidad, desarrollo de la hoja de información de los modos y efecto de falla y el desarrollo de la hoja de información.

- Selección del modelo de mantenimiento para los diferentes grupos de la planta.
- Explicar acerca de la fiabilidad y disponibilidad de los equipos de la planta.

Tercer paso: Desarrollo del plan de mantenimiento

- Exponer la matriz de mantenimiento explicar la lista de leyendas para un mejor entendimiento del personal donde se muestran las diferentes tareas y frecuencias de tiempo en las que se debe ejecutar.
- Las rutas de mantenimiento y el planteamiento de las órdenes de trabajo.

Cuarto paso: ejecución

- Para que el personal entienda el funcionamiento de la matriz es importante realizar la explicación en el documento en Excel, para que el personal pueda mirar el funcionamiento de la misma, ya que consta de diferentes filtros para ayudar en una mejor organización.
- La ejecución se le debe realizar de manera exacta a lo planificado para lograr los mejores resultados del mismo.

Quinto paso: evaluación de resultados

- Los resultados de la implantación del plan de mantenimiento deben ser evaluado al cabo de un año desde su aplicación donde se podrá mirar los resultados del mismo. Como son reducir el mantenimiento correctivo, mejorar en la confiabilidad de los equipos y reducir los costes en mantenimiento.

CONCLUSIONES

- Se realizaron 16 fichas técnicas que corresponden a los equipos que se encuentran dentro de los diferentes procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales, indicando los datos técnicos más relevantes y su ubicación.
- Se revisaron los registros de actividades diarias de mantenimiento en un periodo de 10 meses de los 16 equipos, generando el historial de fallas para su posterior análisis, concluyendo que la mayor causa de fallas en los equipos es el desgaste abrasivo de sus componentes por la presencia de sólidos en el agua que ingresa a la planta.
- Se recopiló la información de las tareas de mantenimiento recomendadas por los fabricantes de los 16 equipos en conjunto con las recomendaciones del personal técnico que se enfocaron en los equipos de criticidad A.
- Se diseñó el plan de mantenimiento anual para los 16 equipos, 4 equipos de criticidad A, se implementó el método de mantenimiento basado en la confiabilidad o RCM, 5 equipos de criticidad B se implementó el método de mantenimiento preventivo, en los 7 equipos de criticidad C, se implementó la combinación del mantenimiento preventivo y correctivo.

RECOMENDACIONES

- Mantener actualizada las fichas técnicas de los equipos, haciendo uso del formato diseñado.
- Llevar un control diario del estado técnico y operacional de cada equipo.
- Tener un resguardo de los manuales de los equipos.
- Aplicar el plan de mantenimiento diseñado y evaluar los resultados en un periodo recomendado de un año.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] Ministerio del ambiente , «Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua,» p. 36, 2007.
- [2] N. Mazzeo, F. Garcia y D. Larrea, «Eutrofizacion: causas, consecuencias y manejo,» p. 55, 2001.
- [3] L. Rodriguez, «Sistemas coloidales: características generales,» *Universidad de Salamanca* , 2006.
- [4] I. Aranberri y B. Binks, «Elaboracion y caracterización de emulsiones estabilizadas por polimeros y agentes tensioactivos,» *Iberoamericana de Polímeros* , vol. 7(3), p. 231, 2006.
- [5] . A. Deloya Martínez, «Biodiscos: una alternativa de tratamiento biológico para aguas residuales cuando no se dispone de grandes extensiones de terreno,» 2009.
- [6] M. Pirez y M. Mota, «Morfología y estructura bacteriana,» 2003.
- [7] C. A. León Gil, «Estandarización y validación de una técnica para medición de la demanda bioquímica de oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método colorimétrico,» *Universidad Tecnológica de Pereira*, 2009.
- [8] «"Manejo integral de la salmoniculiura a través de un enfoque ecosistémico utilizando técnicas de percepción remota y tecnologías oceanográficas de ultima generación,» *Salmon chile intesa*, 2007.
- [9] Comisión de salud pública, «Agentes biológicos,» *Ministerio de sanidad y consumo*.
- [10] . L. E. Argandoña Zambrano y . M. García Ramón, «Determinación de sólidos totales, suspendidos, sedimentados y volátiles, en el efluente de las lagunas de oxidación situadas en la parroquia colón, cantón portoviejo, provincia de manabí, durante el período de marzo a septiembre 2013,» *Universidad técnica de Manabí* , 2013.
- [11] D. Mesa Grajales, Y. Ortiz Sánchez y M. Pinzó, «La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento,» *Universidad Tecnológica de Pereira* , 2006.
- [12] I. y. S. A. S. «Memoria explicativa del proyecto de instalación y puesta en marcha de un sistema de tratamiento primario avanzado el aeropuerto Mariscal Sucre de Quito,» ISA S.A, Cumbaya, s.f.

- [13] I. y. S. A. S. «Manual de Operación Sistema de Tratamiento Integral,» Cumbaya, s.f.
- [14] M. C. Paredes Salán, «Diseño de la Planta de Tratamiento de aguas residuales de la lavandería JAV-TEX del cantón Pelileo. (Tesis de Grado),» 2013. [En línea]. Available: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2697/1/96T00215.pdf>.
- [15] J. A. Romero Rojas, Tratamiento de Aguas residuales, Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001.
- [16] Bombas Grundfos, «Grundfos,» Bombas Grundfos de México, s.f. [En línea]. Available: <http://mx.grundfos.com/service-support/encyclopedia-search/airlift-pump.html>. [Último acceso: 21 Febrero 2017].
- [17] W. I. Rivas, Diseño de Plantas de Tratamiento de aguas residuales, Bogotá: Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2012.
- [18] S. Beltran, *Plan de mantenimiento centrado en la confiabilidad (R.C.M.) en la EDAR de Nules-Vilavella (Tesis de Grado)*, España: Universitat Jaume I, 2015.
- [19] D. Mesa, Y. Ortiz y M. Pinzon, «La confiabilidad, la disponibilidad y la mantenibilidad, disciplinas modernas aplicadas al mantenimiento,» *Universidad Tecnológica de Pereira* , 2006.
- [20] J. Moubray, Mantenimiento Centrado en Confiabilidad, Buenos Aires: Aladon LLC, 2004.
- [21] N. Mansilla del Valle, Aplicación de la metodología de mantenimiento, Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2011.
- [22] G. Poveda, «Aplicación de la metodología de mantenimiento centrado en confiabilidad para el desarrollo de planes de mantenimiento. (Tesis de grado, ESPOL),» 19 Marzo 2012. [En línea]. Available: <http://www.dspace.espol.edu.ec/xmlui/handle/123456789/20586>.
- [23] P. C. Instituto de desarrollo profesional y técnico: Introducción a la confiabilidad, Venezuela, 1999.
- [24] C. Viesca, Analisis de modo y efecto de falla, 1995.
- [25] C. Parra y A. Crespo, Ingeniería de fiabilidad aplicada al proceso de análisis de coste de ciclo de vida (accv). revisión de modelos básicos., España: Universidad de Sevilla, Escuela de Ingeniería, Departamento de Organización Industrial., 2013.

- [26] J. C. Toro Osorio y P. A. Céspedes Gutiérrez, «Metodología para medir confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidad en mantenimiento,» *Universidad EAFIT*, p. 8, 2012.
- [27] S. García Garrido, Organización y gestión integral de mantenimiento, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2003.
- [28] J. F. Santos Martínez, «DISEÑO DEL PLAN DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD PARA LA PLANTA PROCESADORA DE AVES AVINSADE FLORIDABLANCA,» *UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA*, 2011.
- [29] R. Prando , Manual gestión de mantenimiento a la medida, Guatemala: Piedra Santa, 1996.
- [30] SAE:JA1011, Norma para vehículos aeroespaciales y de superficie SAE:JA1011, 1999.
- [31] N. Mansilla del Valle, Aplicación de la metodología de mantenimiento productivo total (TPM) para la estandarización de procesos y reducción de pérdidas en la fabricación de goma de mascar en una industria nacional(Tesis de grado), Santiago de Chile: Universidad de Chile, 2011.
- [32] A. Paez, Manuel del Ingeniero de Mantenimiento, Facilities management, 2010.
- [33] C. Boonzaaijer y F. Heijster, «Desarrollo endógeno,» *Compas*, p. 29, 2008.

